



## Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker. Delrapport 16: Prøvning af serie N

Hansen, Lars Pilegaard; Rathkjen, Arne

*Publication date:*  
1993

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*  
Hansen, L. P., & Rathkjen, A. (1993). *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker. Delrapport 16: Prøvning af serie N*. Aalborg Universitetsforlag. R : Institut for Bygningsteknik, Aalborg Universitet Nr. R9319

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

### Take down policy

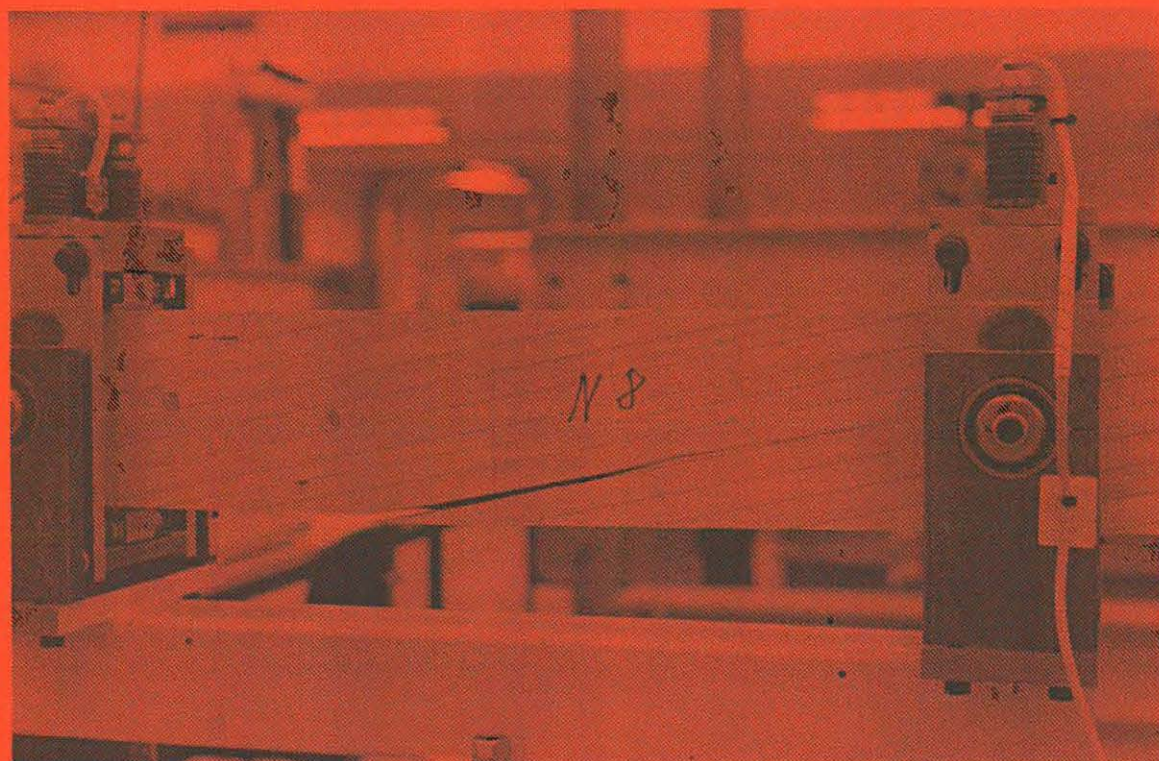
If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

---

# INSTITUTTET FOR BYGNINGSTEKNIK

DEPT. OF BUILDING TECHNOLOGY AND STRUCTURAL ENGINEERING  
AALBORG UNIVERSITETSCENTER • AUC • AALBORG • DANMARK

---



---

L. PILEGAARD HANSEN & A. RATHKJEN  
UDMATTELSESFORSØG MED LAMINEREDE LIMTRÆBJÆLKER  
DELRAPPORT 16: PRØVNING AF SERIE N  
JUNI 1993

ISSN 0902-7513 R9319

---





---

# INSTITUTTET FOR BYGNINGSTEKNIK

DEPT. OF BUILDING TECHNOLOGY AND STRUCTURAL ENGINEERING  
AALBORG UNIVERSITETSCENTER • AUC • AALBORG • DANMARK

---

---

L. PILEGAARD HANSEN & A. RATHKJEN

UDMATTELSESFORSØG MED LAMINEREDE LIMTRÆBJÆLKER

DELRAPPORT 16: PRØVNING AF SERIE N

JUNI 1993

ISSN 0902-7513 R9319

---





## **1. Indledning**

Laminerende limtræbjælkers udmattelsesegenskaber er undersøgt i en række forsøg, som startede allerede i 1987.

Der er dels tale om nogle indledende forsøg, se [1], udført fra 1987 til 1989 og dels en meget stor forsøgsrække omfattende serie A til K. Denne forsøgsrække er beskrevet i [3]-[15], og udført i perioden 1989-1992.

Den foreliggende rapport omfatter serie N og er udført i 1993.

Forsøgene, beskrevet i [1] og [3]-[15], var alle flytningsstyrede forsøg og med samme fortegn for midterflytningen, således, at bjælken kun blev påvirket til én side (udfra midterstillingen). Hele forsøgsopstillingen er imidlertid blevet ombygget med nye lejer og nye anordninger til kraftpåførsel, således, at det har været muligt

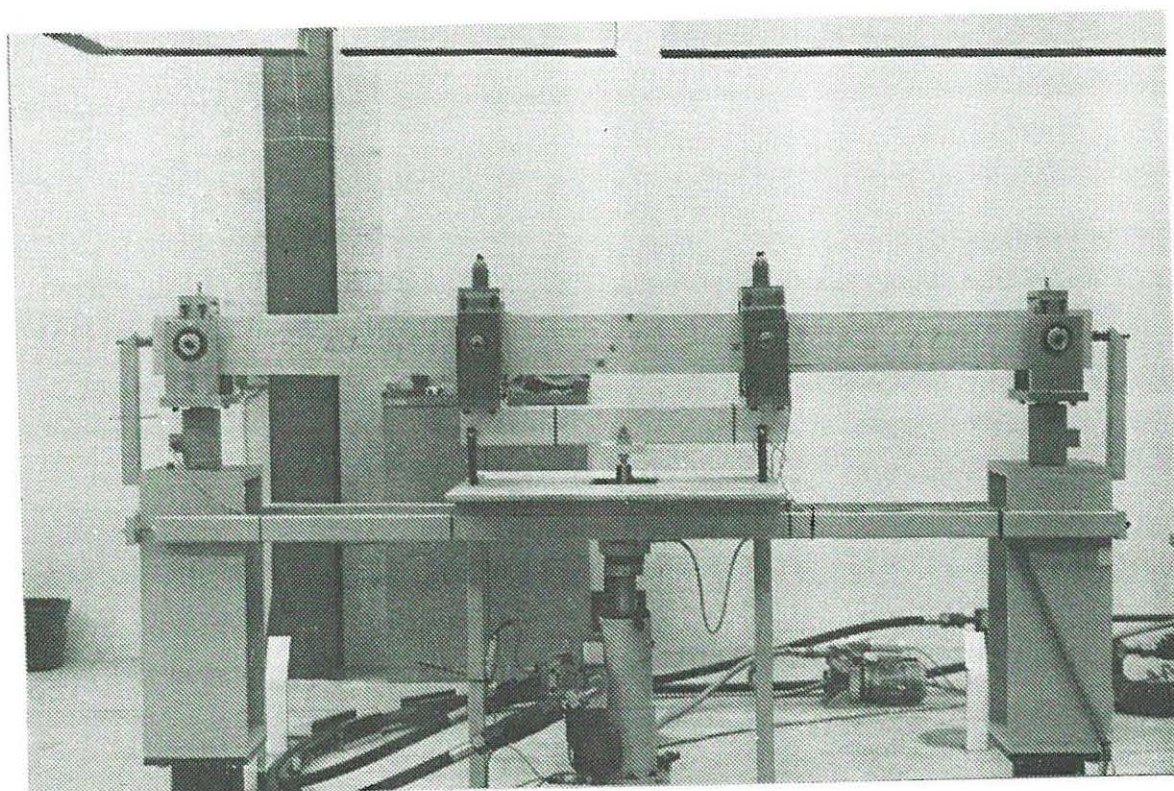
1. at påføre flytninger (kræfter) med modsat fortegn, dvs. påvirke bjælken til hver side af midterstillingen, og
2. at udføre såvel flytningsstyrede som kraftstyrede forsøg.

Der er således tale om en væsentlig forbedret forsøgsopstilling.

Herudover er systemet udbygget med en række sikringsanordninger, en brandalarm samt en støjdempende skærm.

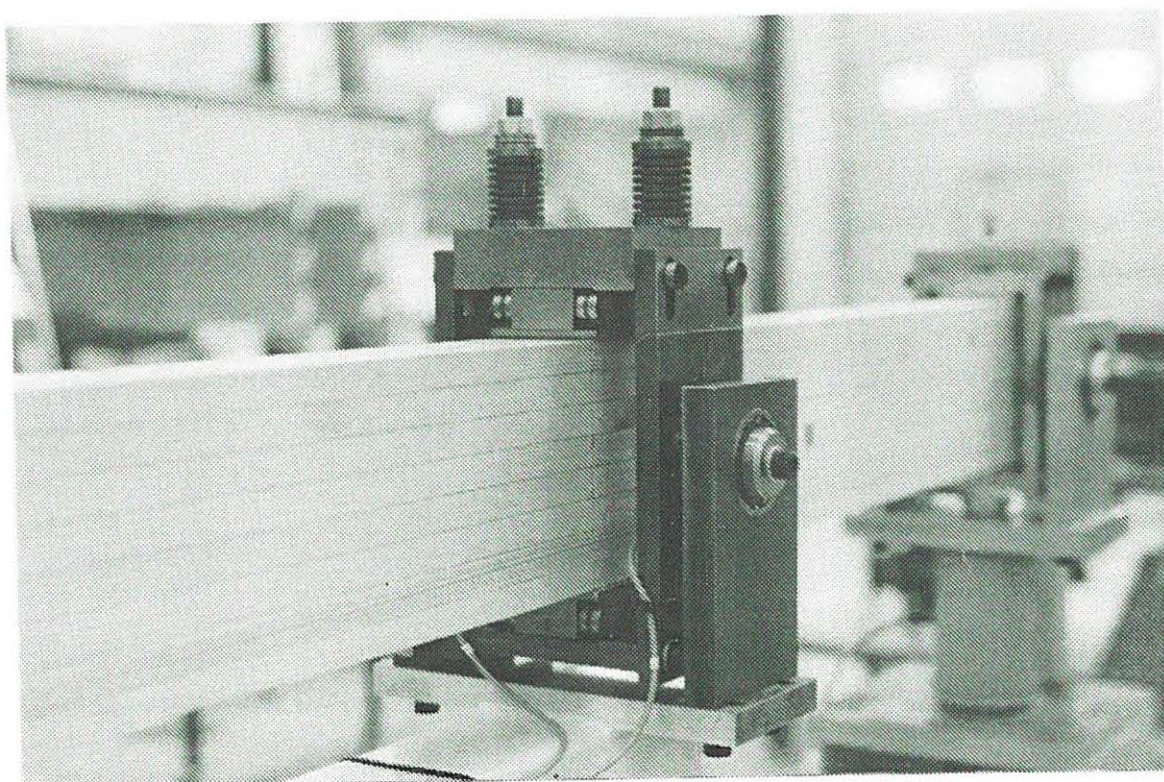
Figur 1.1 viser selve forsøgsopstillingen, hvor det også kan bemærkes, at kræfterne ved understøtningerne også måles.





**Figur 1.1** Forsøgsopstilling efter ombygning.

Et mere detaljeret billede af anordningen, hvor en enkeltkraft påføres, er vist i figur 1.2.



**Figur 1.2** Foto af kraftangrebspunkt.

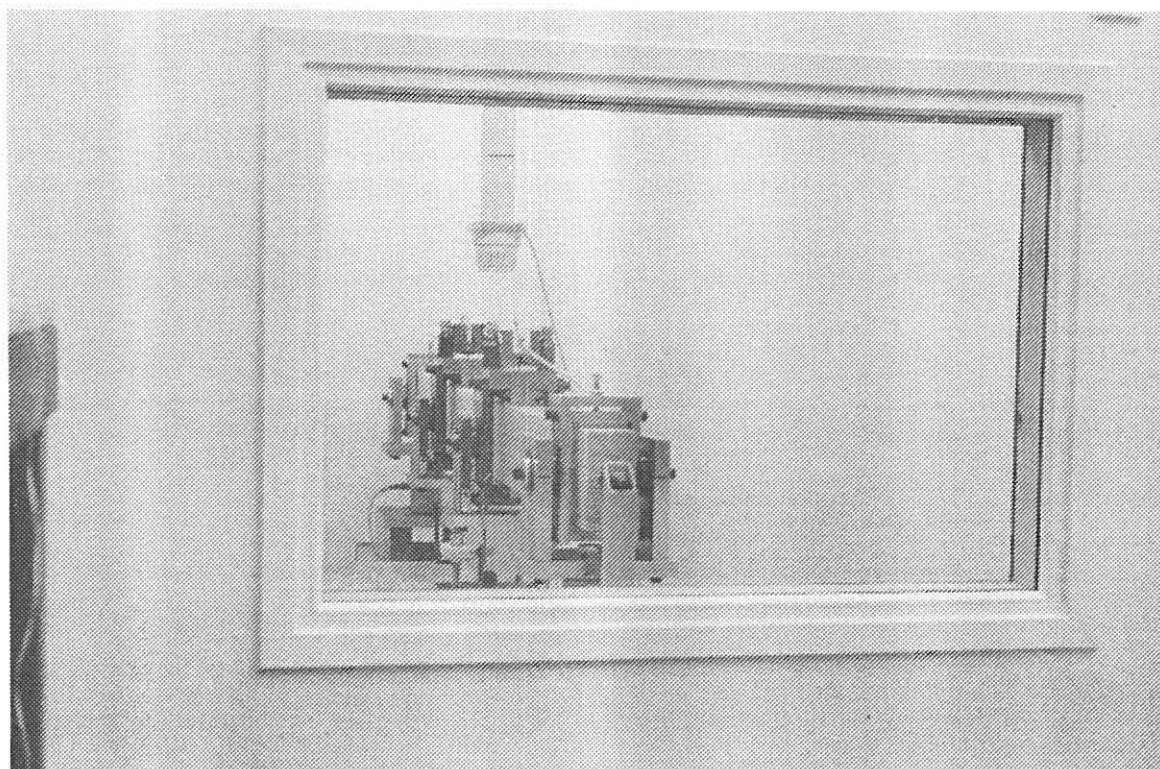


Der tillades vinkeldrejning samt vandret bevægelse i punktet, som sikres dels ved 2 rullelejer ved midterakslen samt "vogne" ved over- og underside hver forsynet med 4 kuglelejer (hjul). Hele anordningen forspændes med de 2 viste bolte forsynet med tallerkenfjedre.

Såfremt der opstår for store sammentrykninger ved kraftangrebepunkterne eller ved lejerne, afbrydes forsøget ved hjælp af indbyggede microswitche.

Da forsøgene afvikles uden manuel betjening, når de først er startet, er det som nævnt tidligere vigtigt at sørge for passende sikkerhedsforanstaltninger.

Ved et enkelt forsøg blev der (heldigvis i dagtimerne) konstateret et stort langsgående forskydningsbrud, som gav anledning til stor varmeudvikling med deraf følgende røg- (brand) udvikling! Efter denne episode er en brandalarm tilsluttet, se figur 1.3, som viser forsøgsopstillingen set gennem støjskærmen.



**Figur 1.3** Forsøgsopstilling med brandalarm set gennem vindue i støjskærm.

Som ved de tidligere forsøg er fiberhældningens indflydelse undersøgt. Der er benyttet følgende fiberhældninger:

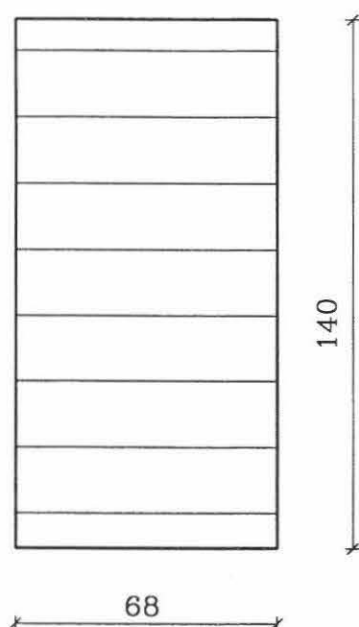


- Serie L :       Fiberretning parallel med bjælkeakse  
Serie M :       Fiberretning 1:10 med bjælkeakse  
Serie N :       Fiberretning 1:5 med bjælkeakse

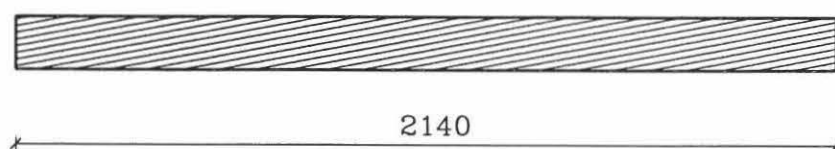
Disse 3 forsøgsserier er alle afviklet som flytningsstyrede forsøg. Det er hensigten senere at supplere forsøgsrækken med kraftstyrede forsøg.

## 2. Prøvelegemer

Forsøgene er udført med laminerede limtræbjælker af gran. Bjælkerne har længden ca. 2140 mm og tværsnitsdimensionerne  $b \times h = \text{ca. } 68 \text{ mm} \times 140 \text{ mm}$ , se figur 2.1 og tabel 3.1. Bjælkerne er opbygget af lameller med lamelhøjde på ca. 19 mm, som danner hældningen 1:5 med bjælkeaksen, se figur 2.2. På figur 2.3 ses en skitse af forsøgsopstillingen.

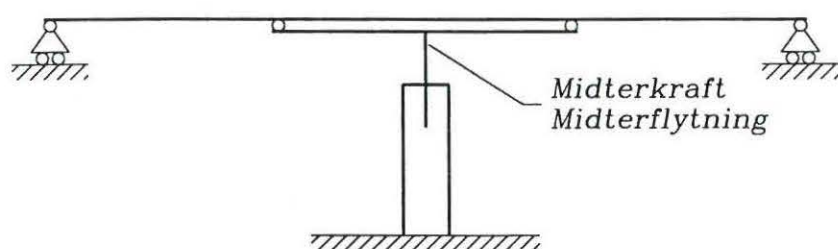


**Figur 2.1** Bjælketværsnit, mål i mm.



**Figur 2.2** Længdesnit i bjælke, mål i mm.





**Figur 2.3** Skitse af forsøgsopstilling.

### **3. Forsøgsafvikling og måleresultater**

Før hvert belastningsforsøg blev bjælkens tværsnitsdimensioner, bredde  $b$  og højde  $h$ , målt i 3 tværsnit. Middelværdier er anført i tabel 3.1.

Fugtindholdet i bjælkerne blev målt umiddelbart før og efter forsøgene. Også disse resultater er anført i tabel 3.1.

På de efterfølgende sider er for hver enkelt bjælke i serien anført belastningshistorien og et foto, som viser brudformen. For de bjælker, der blev udført statiske forsøg med, er der yderligere angivet sammenhængen mellem midterkraft  $P$  og midterudbøjning  $u$ , mens der for de bjælker, der blev brugt til udmattelsesforsøg, er vist både, hvorledes  $P_{\max}$  og  $P_{\min}$  aftager med antallet af svingninger  $n$ , og hvorledes sammenhængen  $P - u$  er før, samt eventuelt under og efter forsøget.

Forsøgsresultaterne før udmattelsesforsøgene er angivet med signaturen  $\square$ , mens resultater efter forsøgene er angivet med  $*$ . Andre benyttede signaturer er angivet ved figurerne.

Ved hver arbejdslinie er endvidere indlagt den bedste rette linie svarende til forsøgsresultaterne før udmattelsespåvirkningen. Udtrykket for hver enkelt bjælke er angivet i tabel 4.1, der ligeledes indeholder bøjningselasticitetsmodulet udregnet på baggrund af dette udtryk for arbejdslinien.

Figurerne er nummereret 3.k.1, 3.k.2 og 3.k.3, hvor  $k$  er bjælkenummeret.

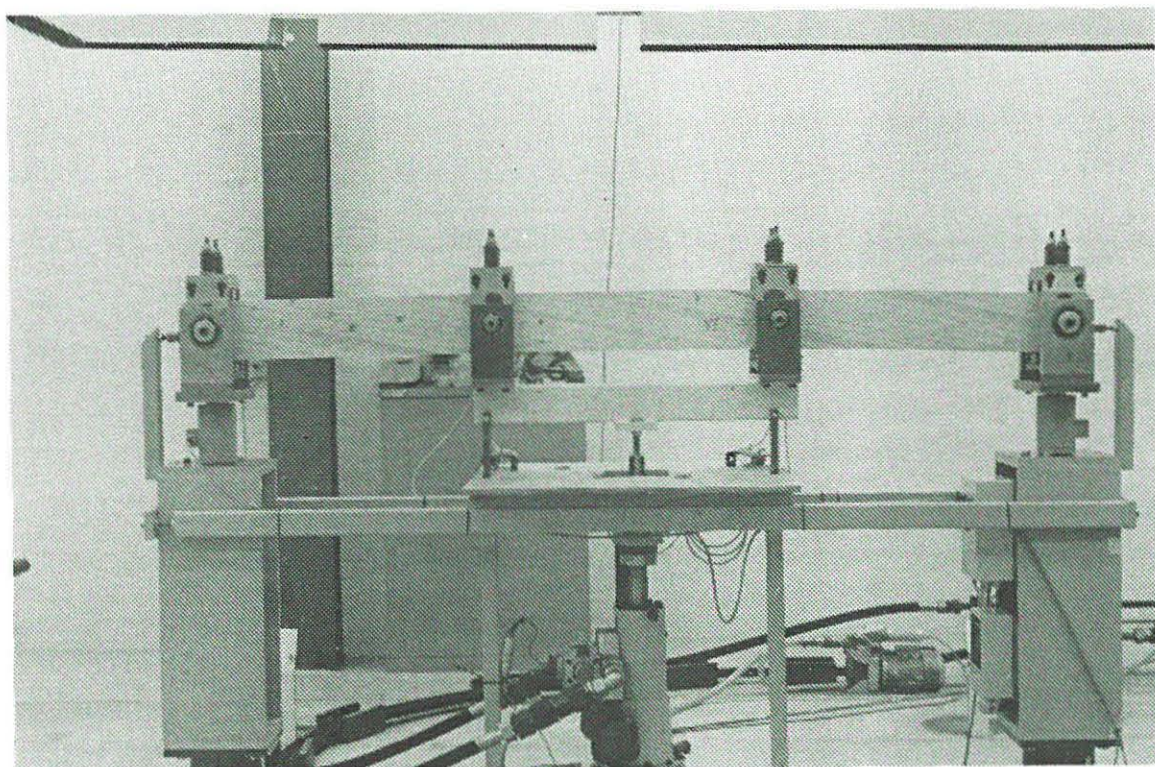


Forsøgs- nummer.	Bredde b	Højde h	Fugtighed før	Fugtighed efter
	mm	mm	%	%
N1	68,1	140,7	10,6	-
N2	68,0	140,7	10,8	-
N3	67,9	140,8	11,9	11,1
N4	68,0	140,6	11,5	12,0
N5	67,9	140,7	12,4	11,6
N6	68,0	140,6	11,8	11,7
N7	68,1	140,7	12,0	12,4
N8	68,1	140,8	11,2	11,0
N9	67,9	140,7	11,5	10,2
N10	68,0	140,8	11,4	11,3
N11	68,1	140,7	11,8	10,3
N12	68,1	140,7	12,0	11,6
N13	67,9	140,7	11,6	11,2
N14	67,9	140,8	12,1	12,4
N15	68,0	140,9	11,8	12,2

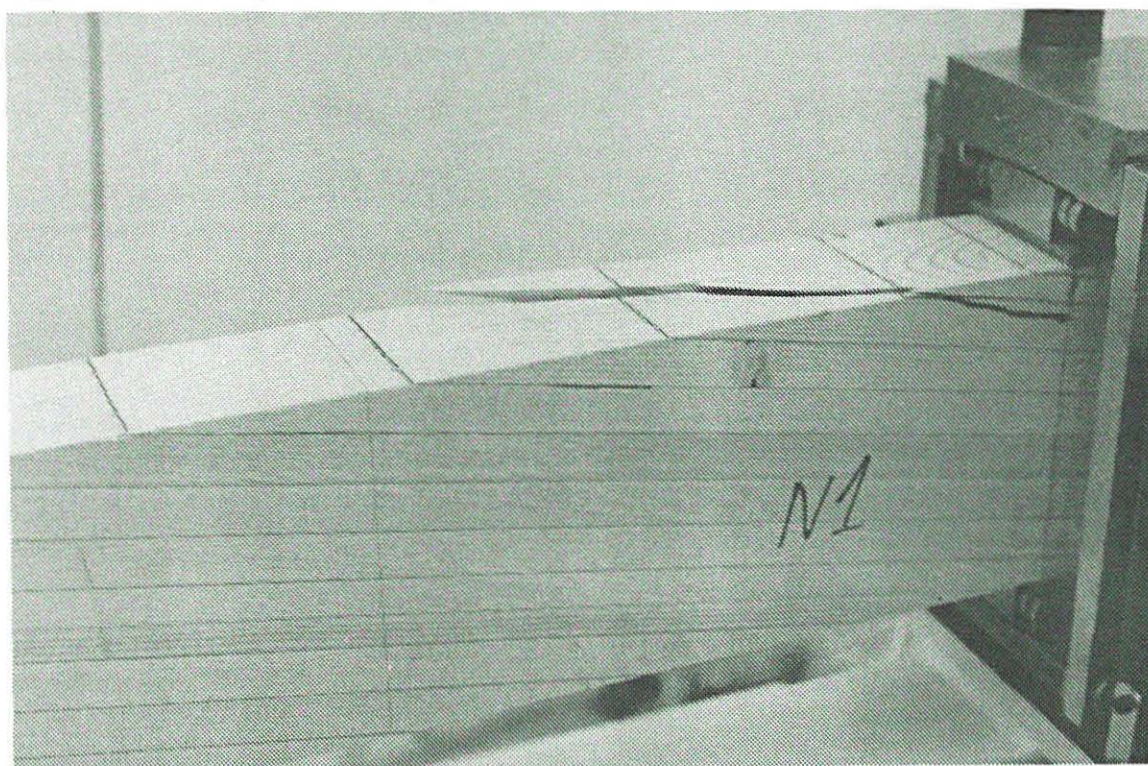
**Tabel 3.1** Tværsnitsdata og fugtmålinger for serie N.





**Bjælke N1****Statisk forsøg**

**Figur 3.1.1** Bjælke i udbøjet tilstand.

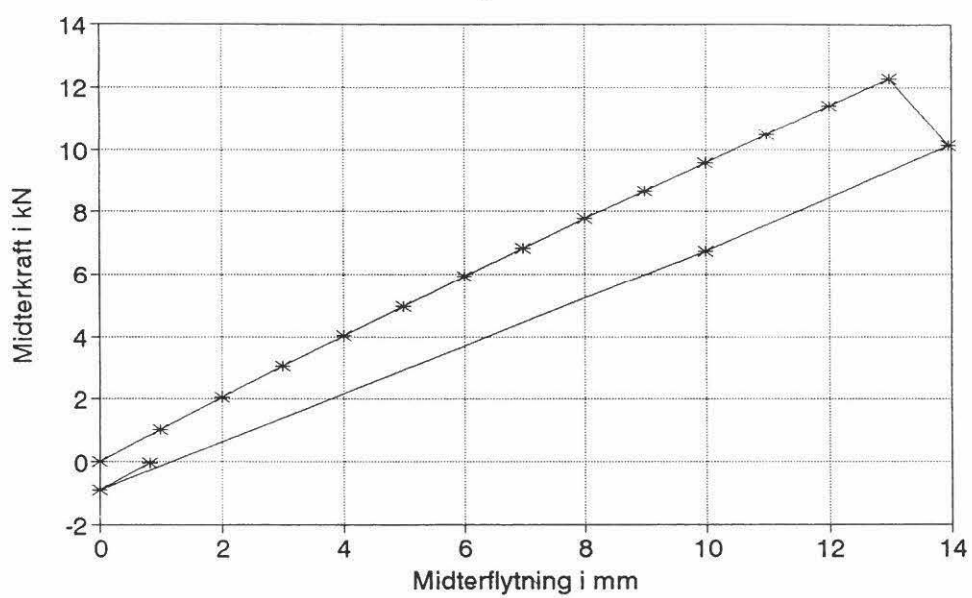


**Figur 3.1.2** Trækbrud ved kraftangrebspunkt.



## LIMTRÆBJÆLKE N1

Arbejdslinie

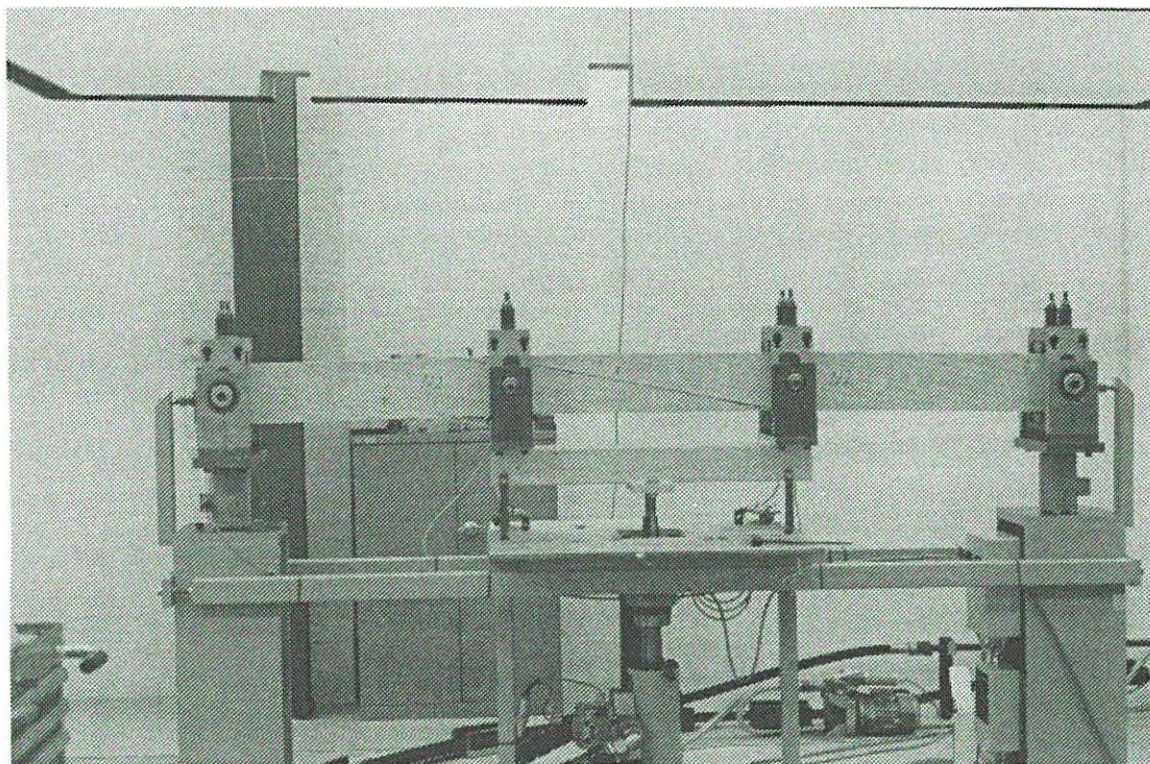
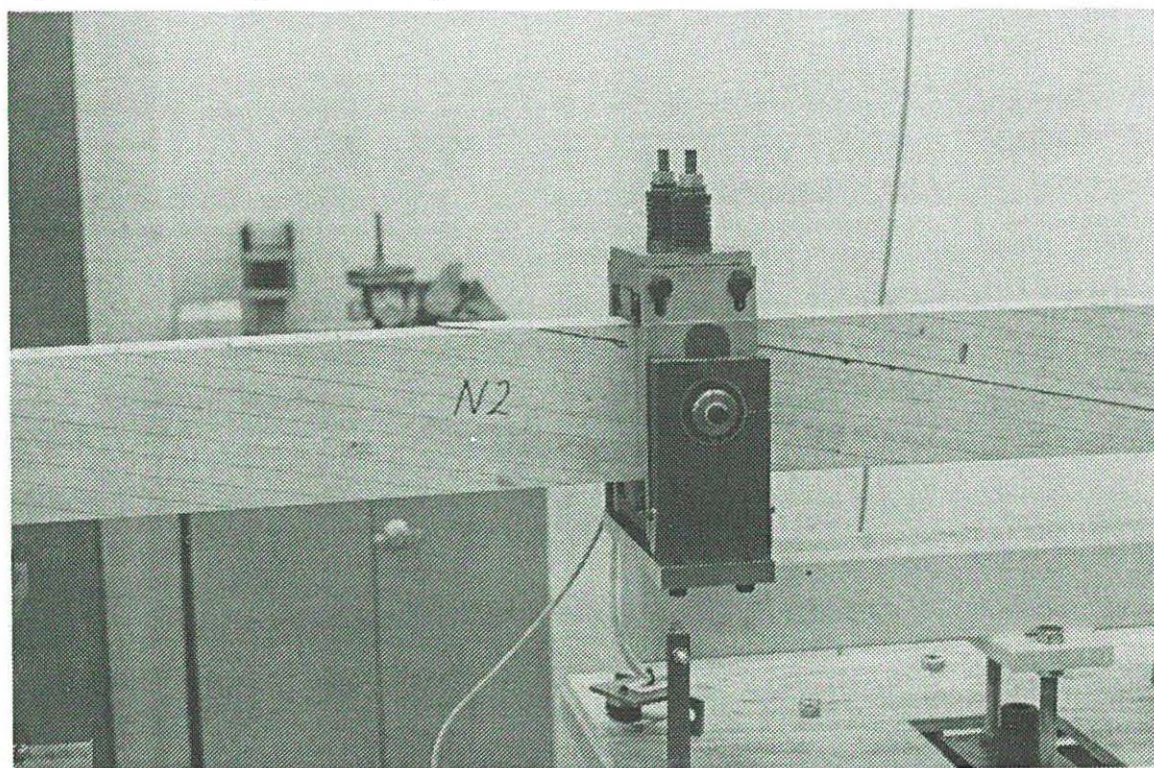


Figur 3.1.3 Arbejdslinie.



**Bjælke N2**

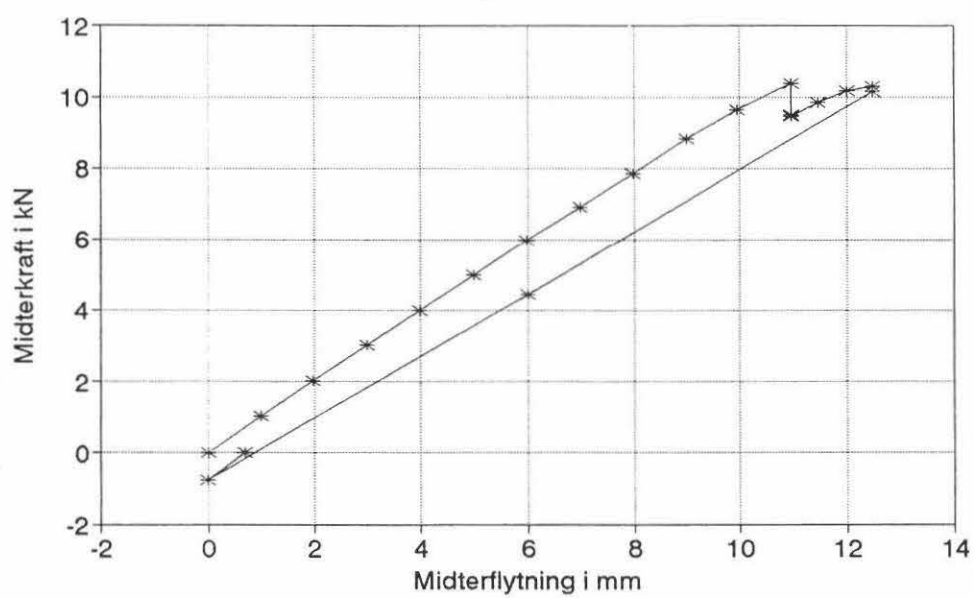
Statisk forsøg.

**Figur 3.2.1** Bjælke i udbøjet tilstand.**Figur 3.2.2** Skrå revne langs limfuge.



## LIMTRÆBJÆLKE N2

Arbejdslinie



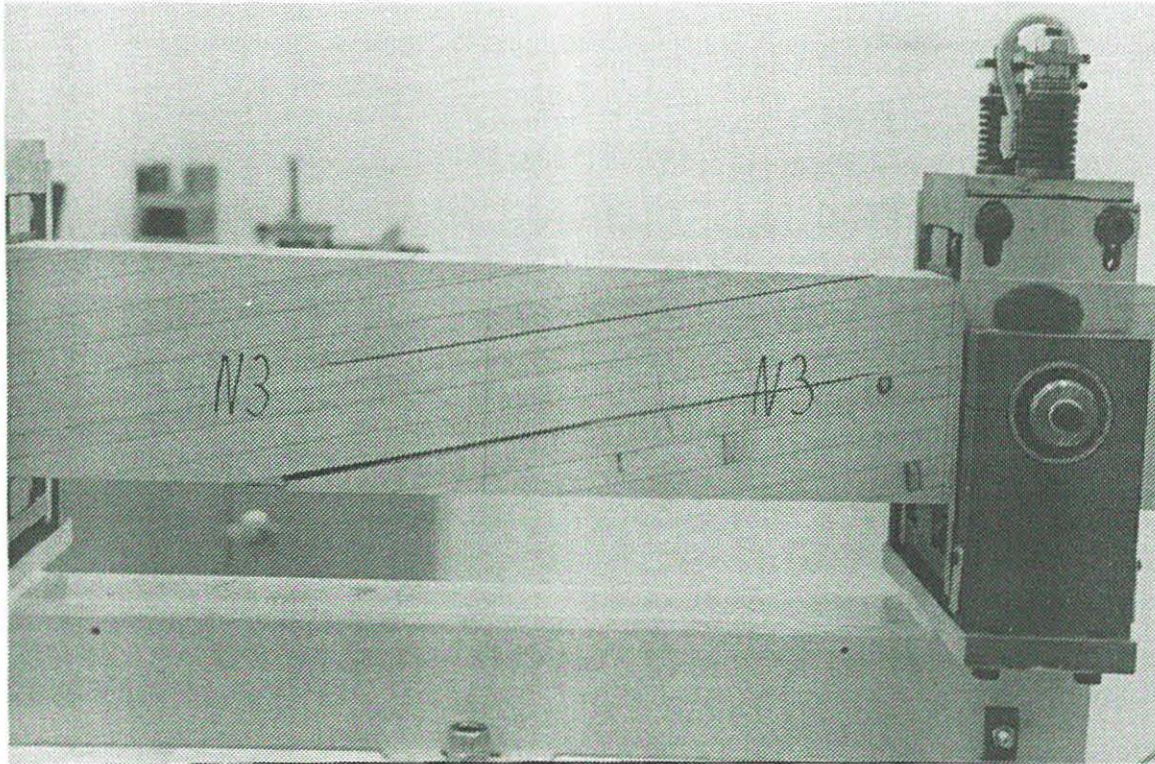
Figur 3.2.3 Arbejdslinie.

**Bjælke N3**

Statisk påvirkning  $u = 0 - 4,0$  mm

Udmattelsespåvirkning  $u = \pm 4,0$  mm til  $n = 697240$

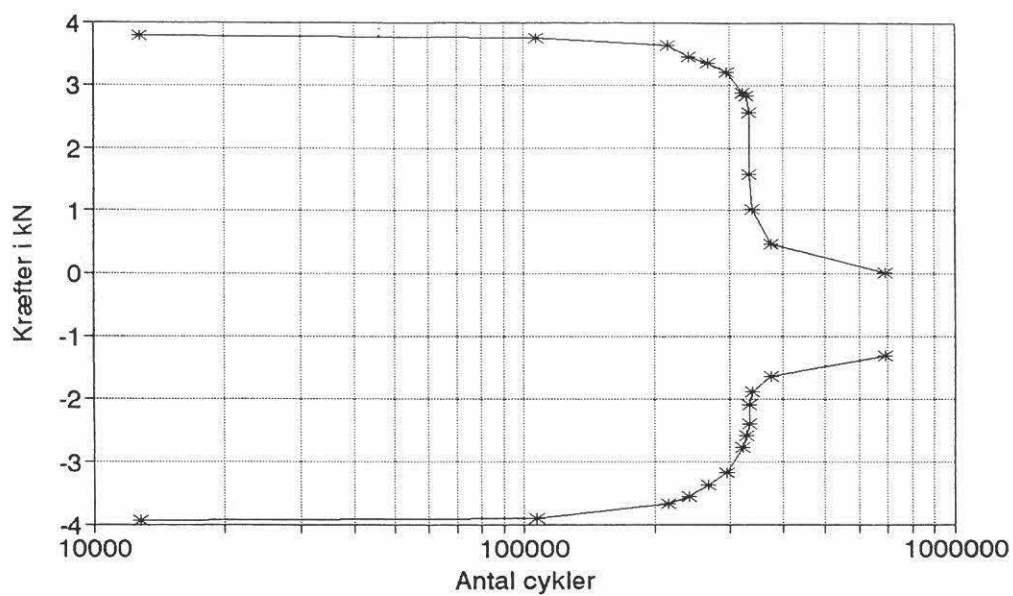
Statisk påvirkning  $u = 0 - 4,0$  mm



**Figur 3.3.1**      Revner parallelle med fibre

## LIMTRÆBJÆLKE N3

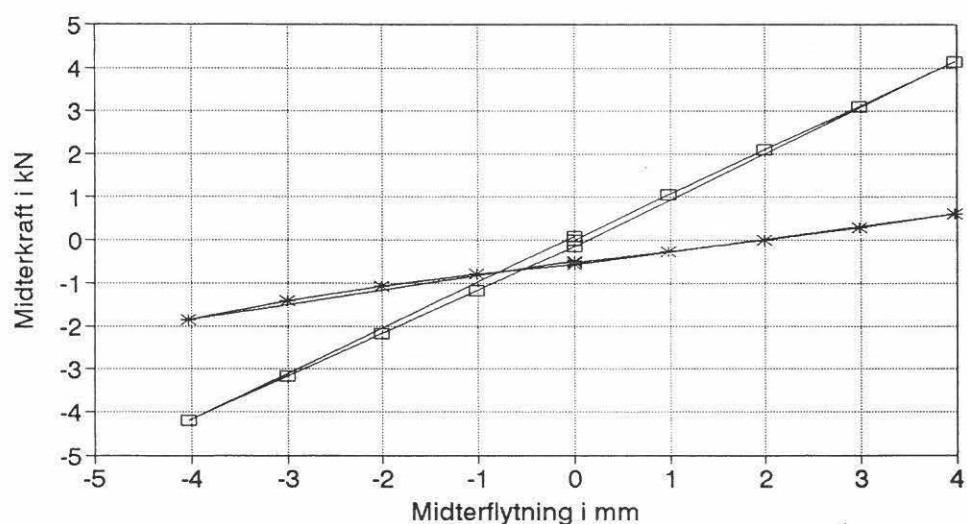
Kraftforløb for  $\pm 4$  mm



Figur 3.3.2 Midterkraften som funktion af antal cykler.

## LIMTRÆBJÆLKE N3

Arbejdslinier



$\square$   $P+ = 1,033u + 0,02$ 
 $\square$   $P- = 1,003u - 0,15$ 
 $*$   $P+ = 0,283u - 0,54$ 
 $*$   $P- = 0,317u - 0,49$

Figur 3.3.3 Arbejdslinie før og efter udmattelsesforsøg.

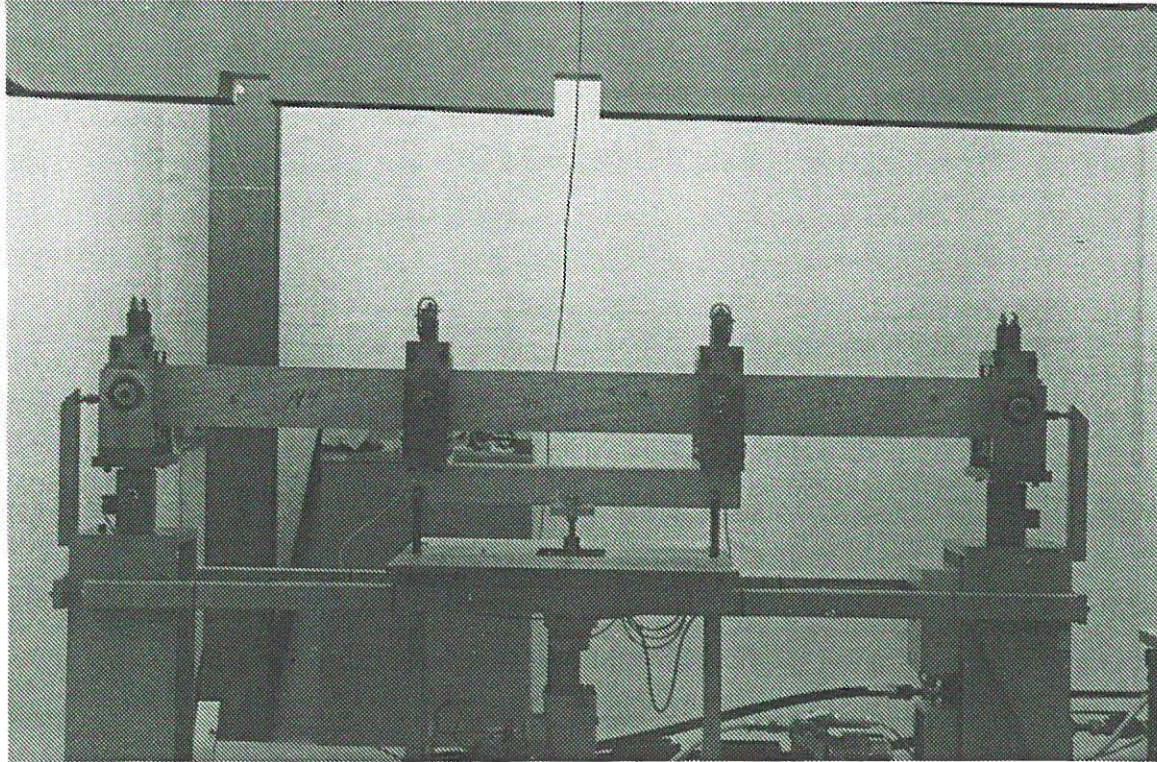


**Bjælke N4**

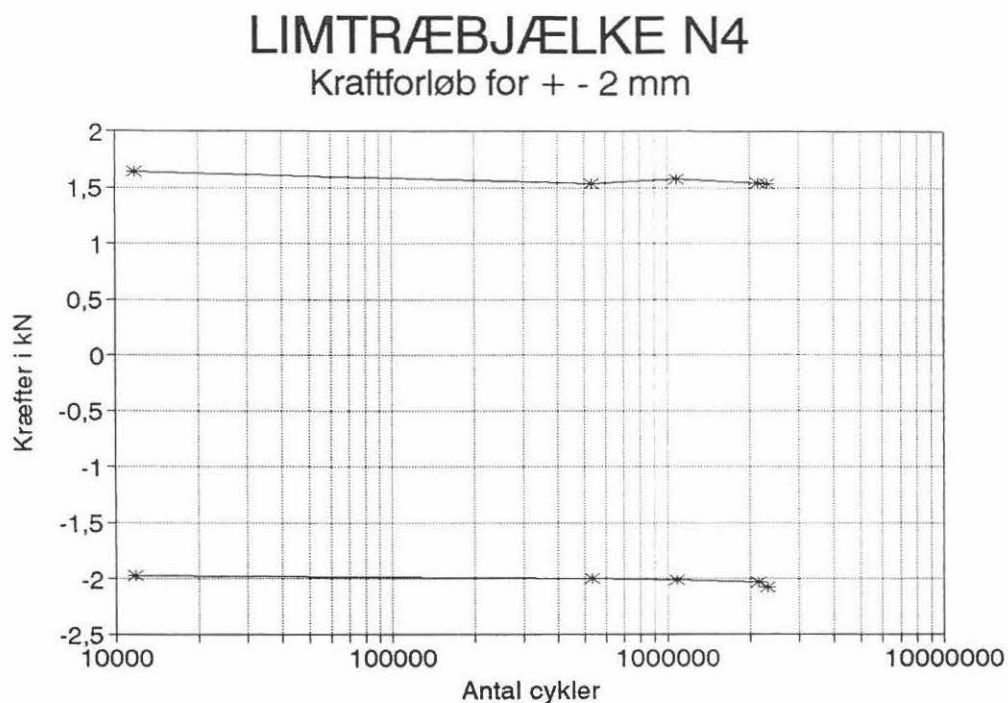
Statisk påvirkning  $u = 0 - 2,0$  mm

Udmattelsespåvirkning  $u = \pm 2,0$  mm til  $n = 2326000$

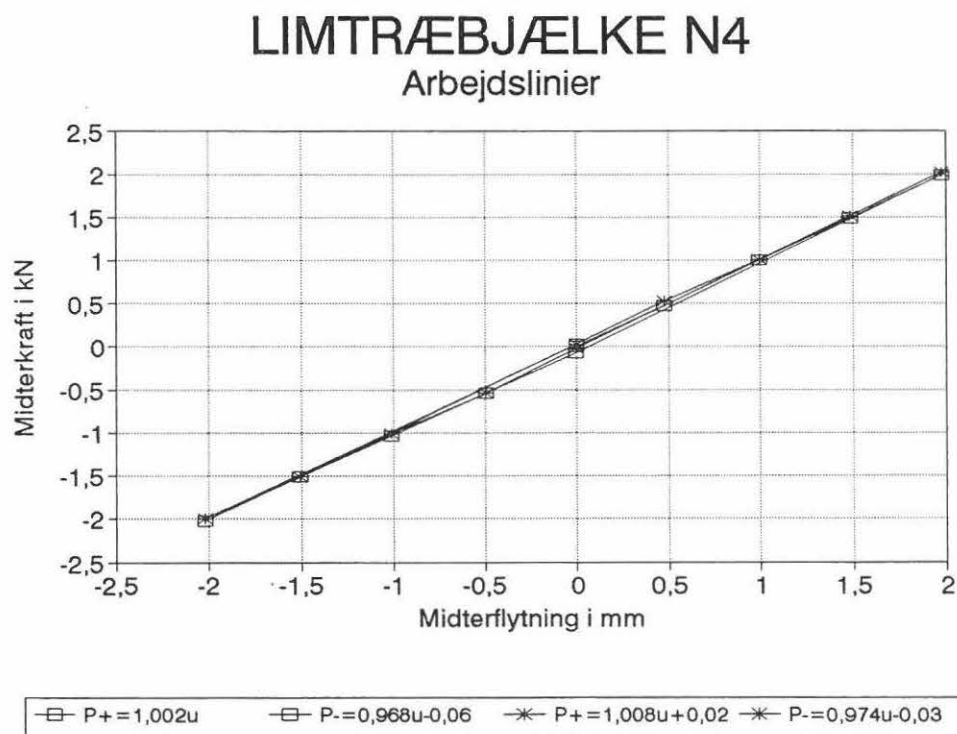
Statisk påvirkning  $u = 0 - 2,0$  mm



**Figur 3.4.1** Ingen synlige skader



**Figur 3.4.2** Midterkraften som funktion af antal cykler.



**Figur 3.4.3** Arbejdslinie før og efter udmattelsesforsøg.

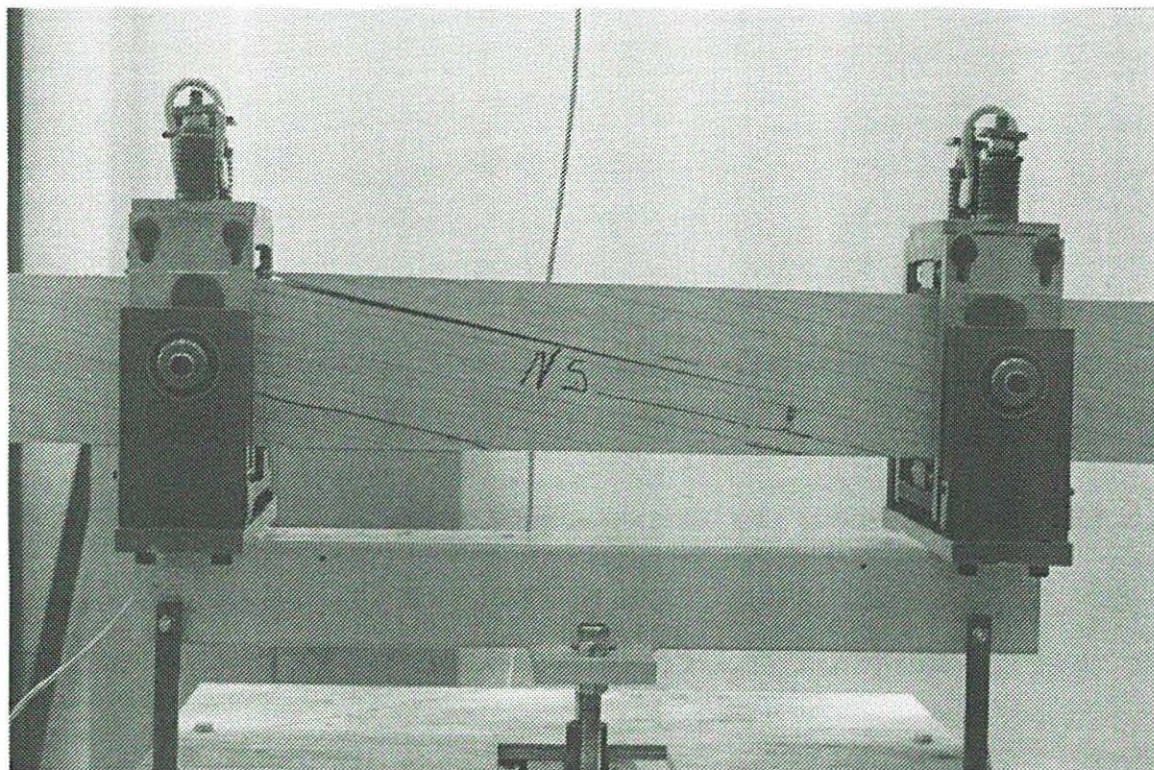


**Bjælke N5**

Statisk påvirkning  $u = 0 - 5,0$  mm

Udmattelsespåvirkning  $u = \pm 5,0$  mm til  $n = 714700$

Statisk påvirkning  $u = 0 - 5,0$  mm

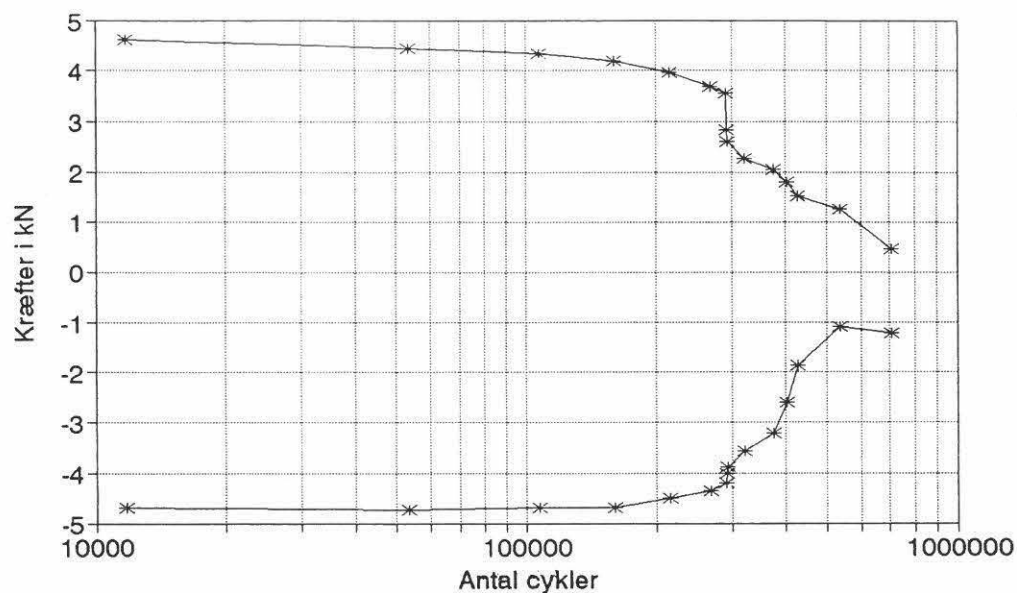


**Figur 3.5.1**      Revner parallelle med fibrene



## LIMTRÆBJÆLKE N5

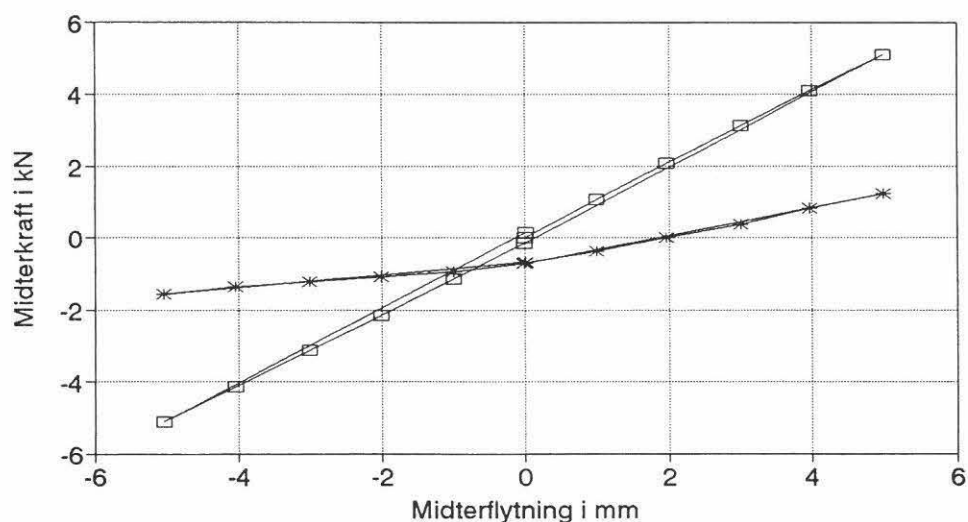
Kraftforløb for + - 5 mm



Figur 3.5.2 Midterkraften som funktion af antal cykler.

## LIMTRÆBJÆLKE N5

Arbejdslinier



—□—  $P+ = 1,025u + 0,03$  —□—  $P- = 0,988u - 0,15$  —\*—  $P+ = 0,389u - 0,75$  —\*—  $P- = 0,162u - 0,74$

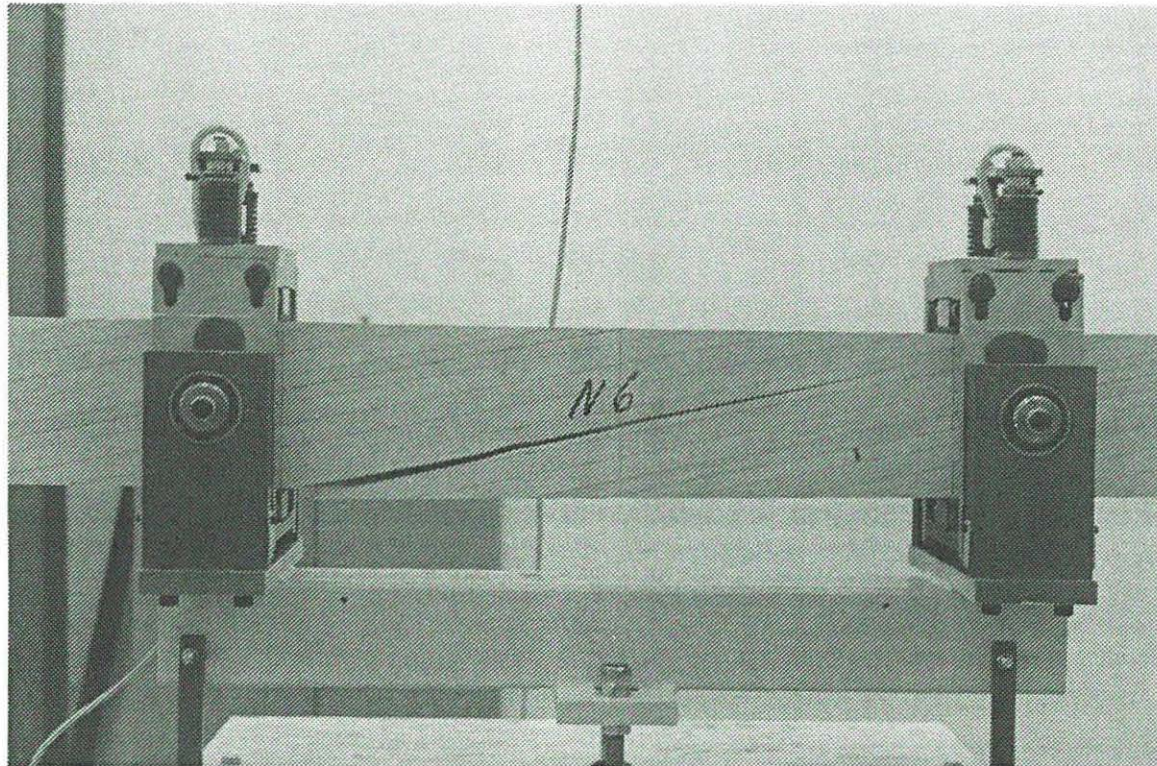
Figur 3.5.3 Arbejdslinie før og efter udmattelsesforsøg.

**Bjælke N6**

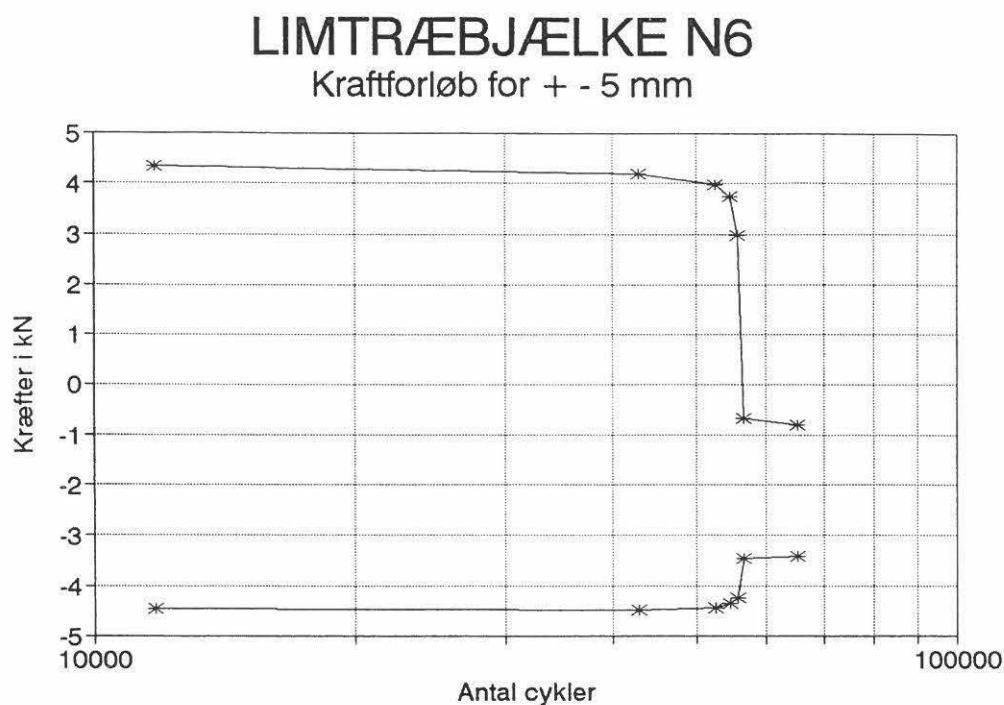
Statisk påvirkning  $u = 0 - 5,0$  mm

Udmattelsespåvirkning  $u = \pm 5,0$  mm til  $n = 66440$

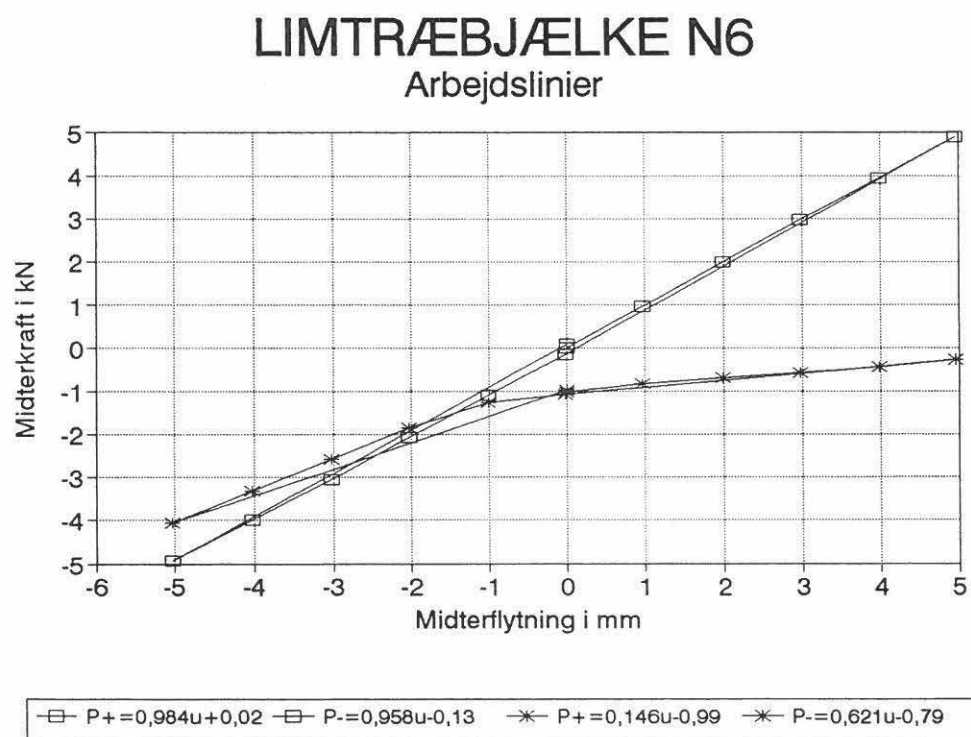
Statisk påvirkning  $u = 0 - 5,0$  mm



**Figur 3.6.1**      Revne parallel med fibrene



**Figur 3.6.2** Kraften som funktion af antal cykler.



**Figur 3.6.3** Arbejdslinie før og efter udmattelsesforsøg.

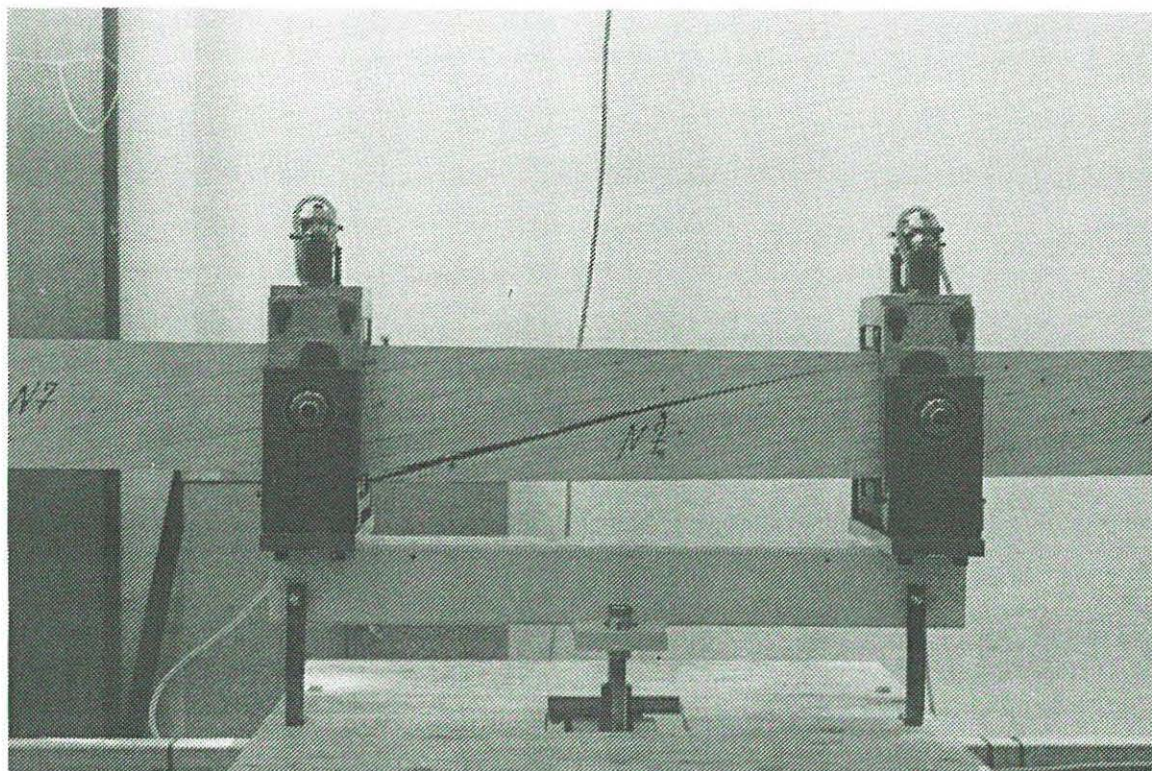


**Bjælke N7**

Statisk påvirkning  $u = 0 - 6,0$  mm

Udmattelsespåvirkning  $u = \pm 6,0$  mm til  $n = 12000$

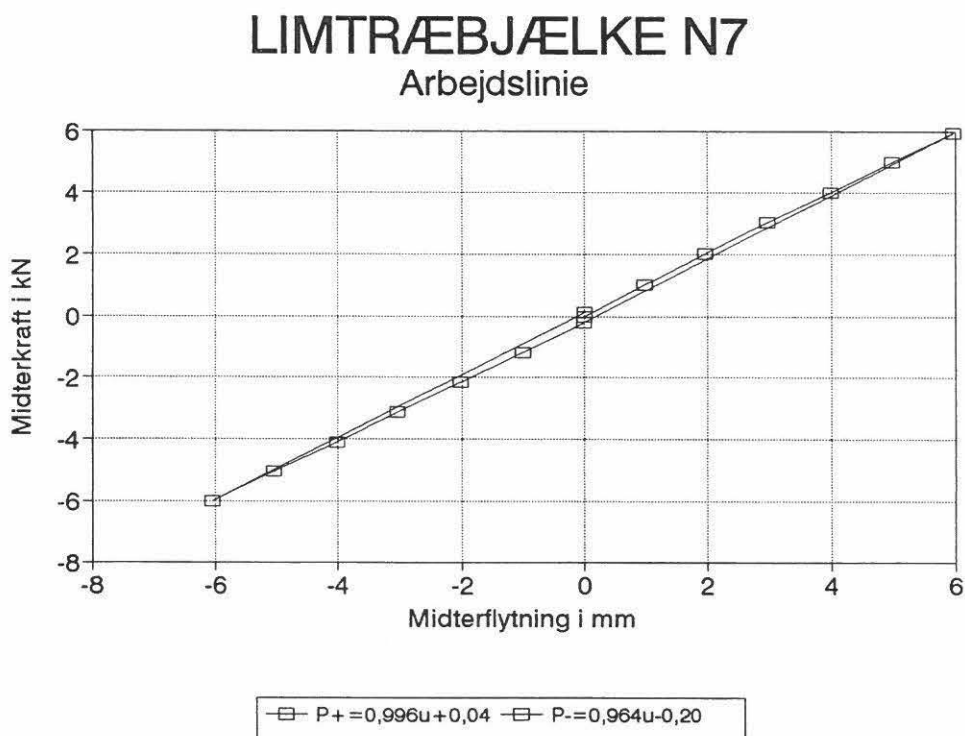
Statisk påvirkning  $u = 0 - 6,0$  mm



**Figur 3.7.1**      Meget stor revne parallelt med fibrene

På grund af det ringe antal cykler til brud er kraftforløbet ikke optegnet

**Figur 3.7.2** Midterkraften som funktion af antal cykler.



**Figur 3.7.3** Arbejdslinie før udmattelsesforsøg.

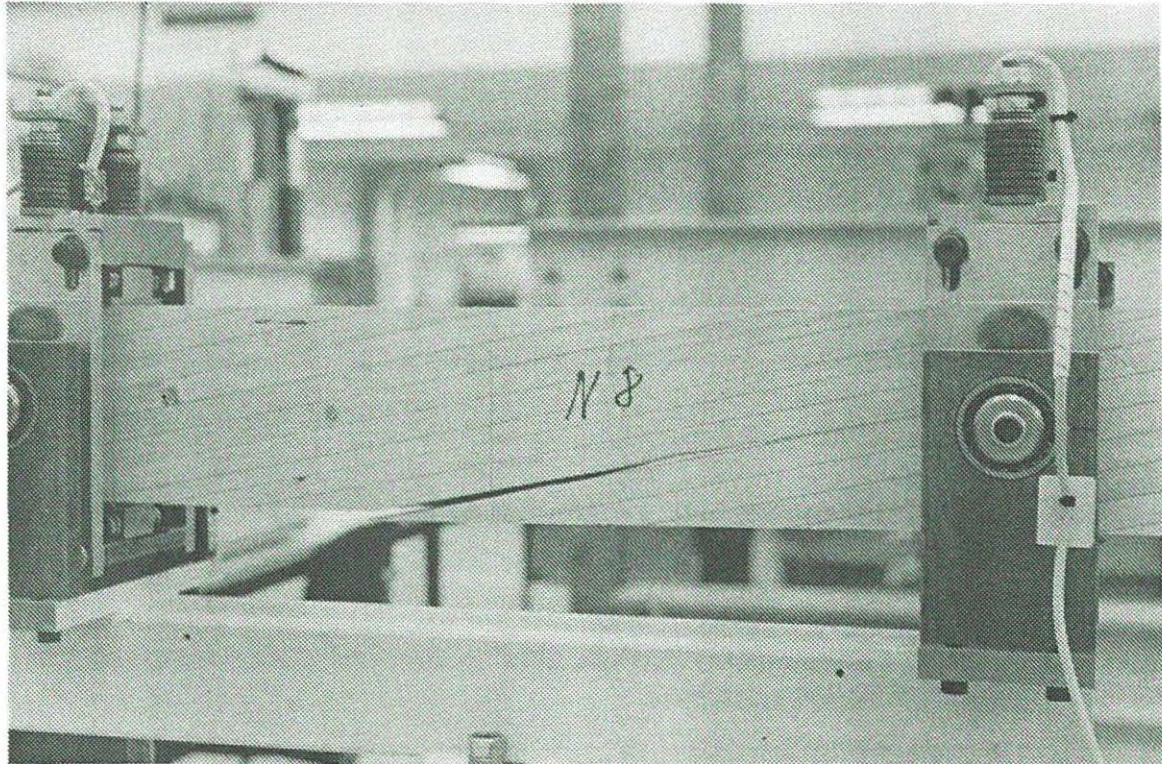


**Bjælke N8**

Statisk påvirkning  $u = 0 - 6,0$  mm

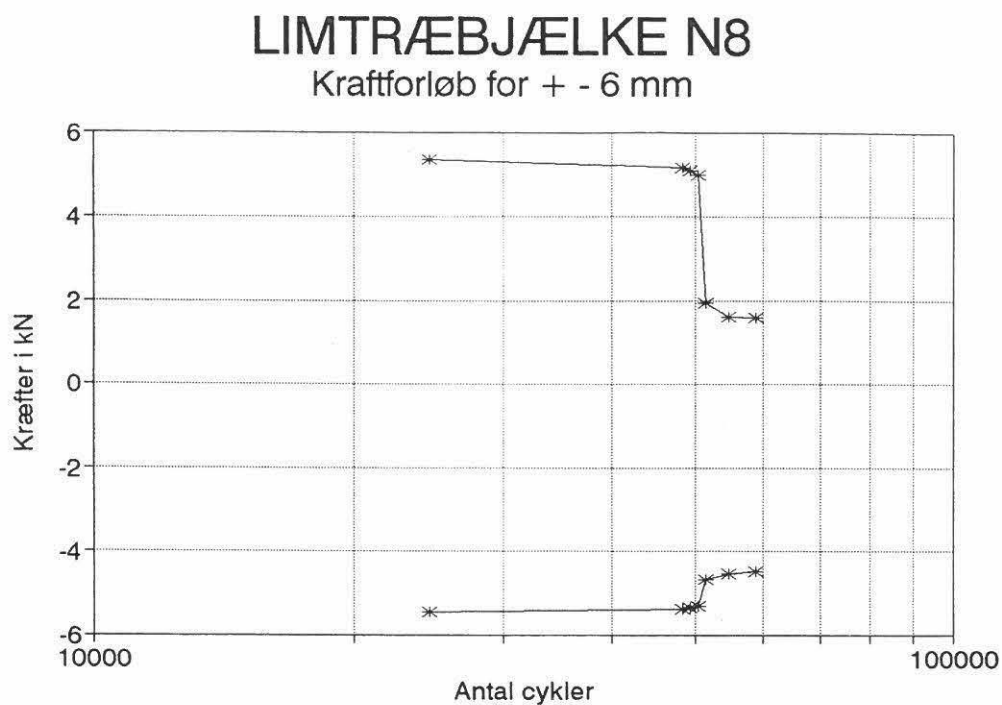
Udmattelsespåvirkning  $u = \pm 6,0$  mm til  $n = 59900$

Statisk påvirkning  $u = 0 - 6,0$  mm

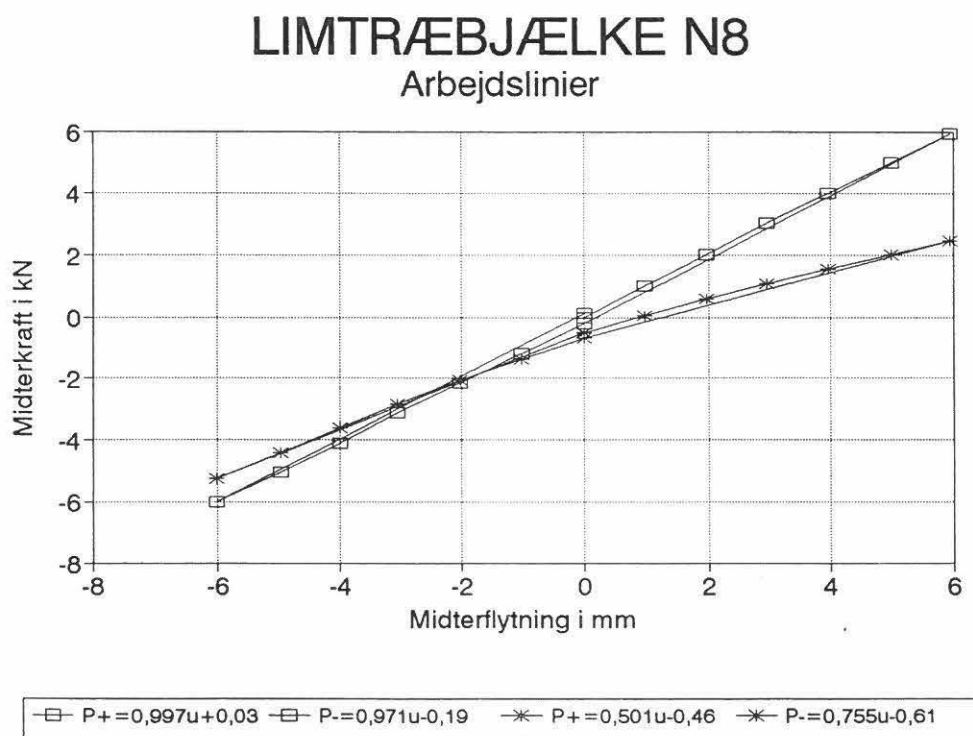


**Figur 3.8.1**      Revne parallel med fibrene





**Figur 3.8.2** Midterkraften som funktion af antal cykler



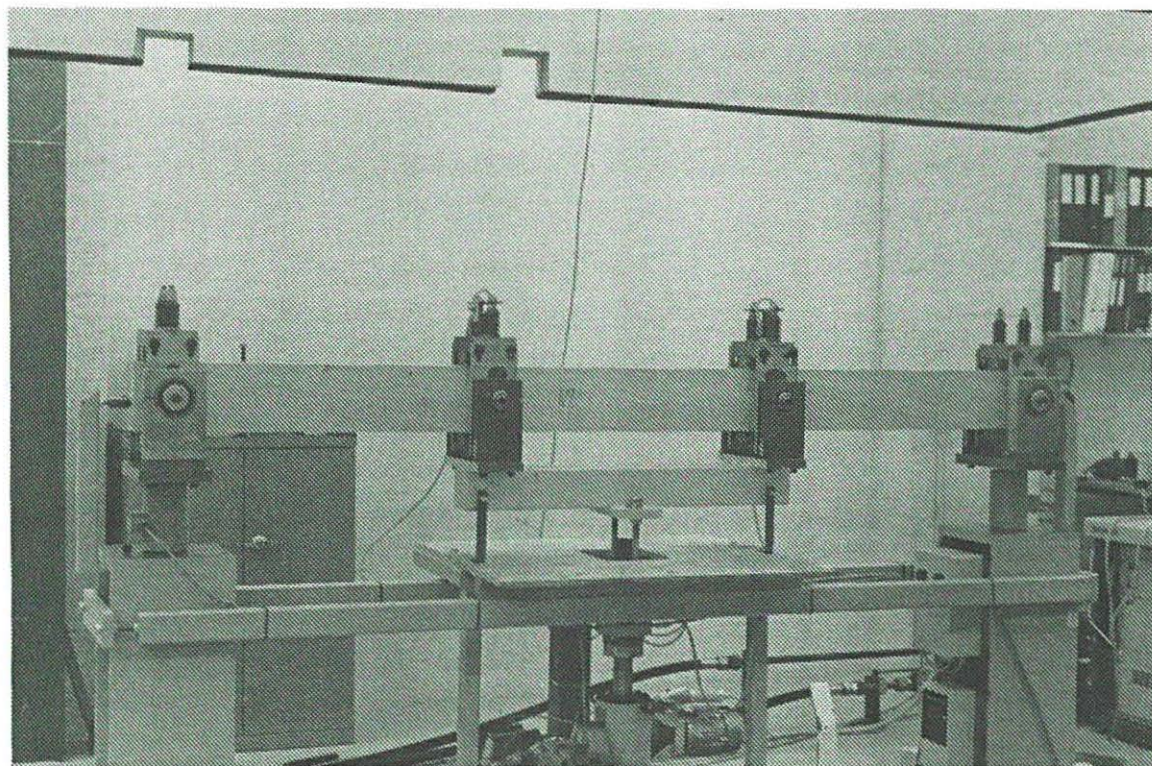
**Figur 3.8.3** Arbejdslinie før og efter udmattelsesforsøg.

**Bjælke N9**

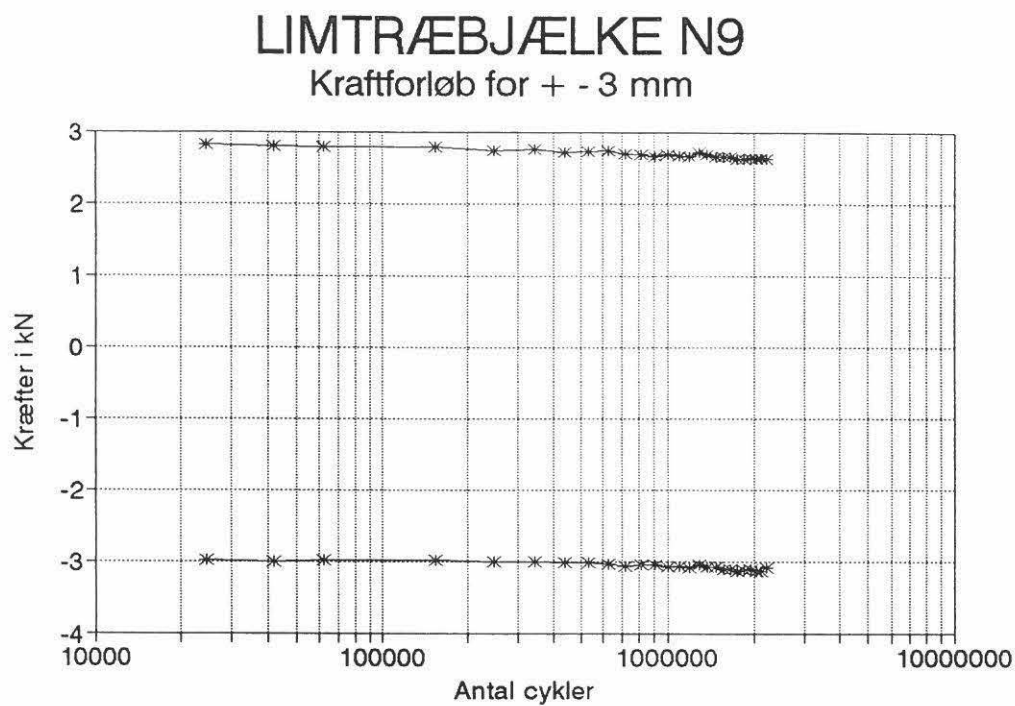
Statisk påvirkning  $u = 0 - 3,0$  mm

Udmattelsespåvirkning  $u = \pm 3,0$  mm til  $n = 2249000$

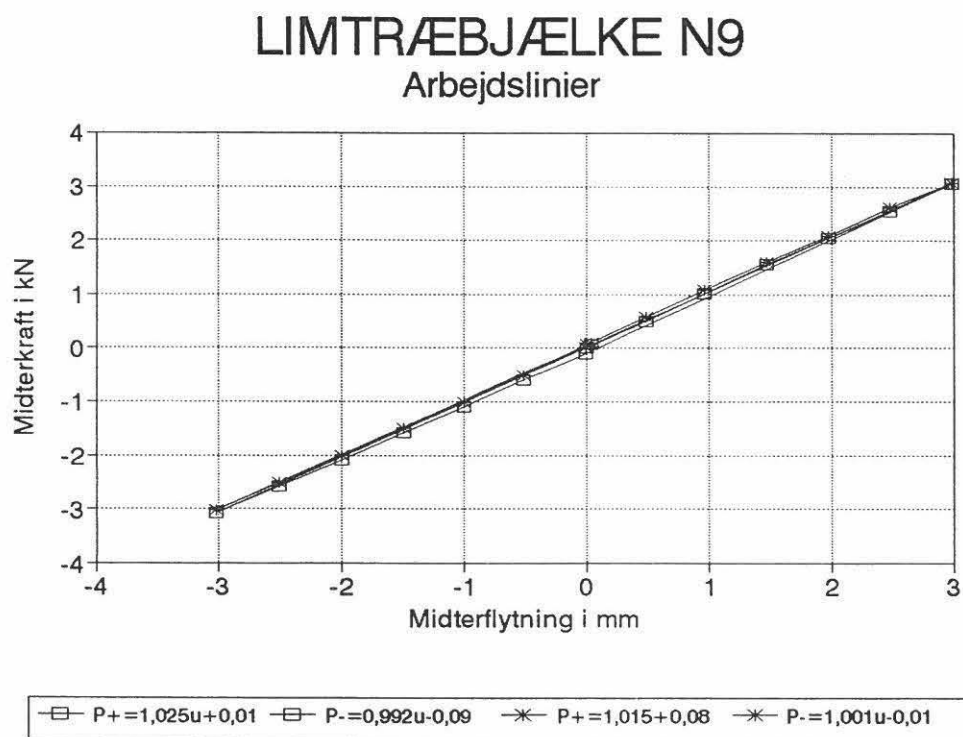
Statisk påvirkning  $u = 0 - 3,0$  mm



**Figur 3.9.1** Ingen synlige skader



**Figur 3.9.2** Midterkraften som funktion af antal cykler.



**Figur 3.9.3** Arbejdslinie før og efter udmattelsesforsøg.

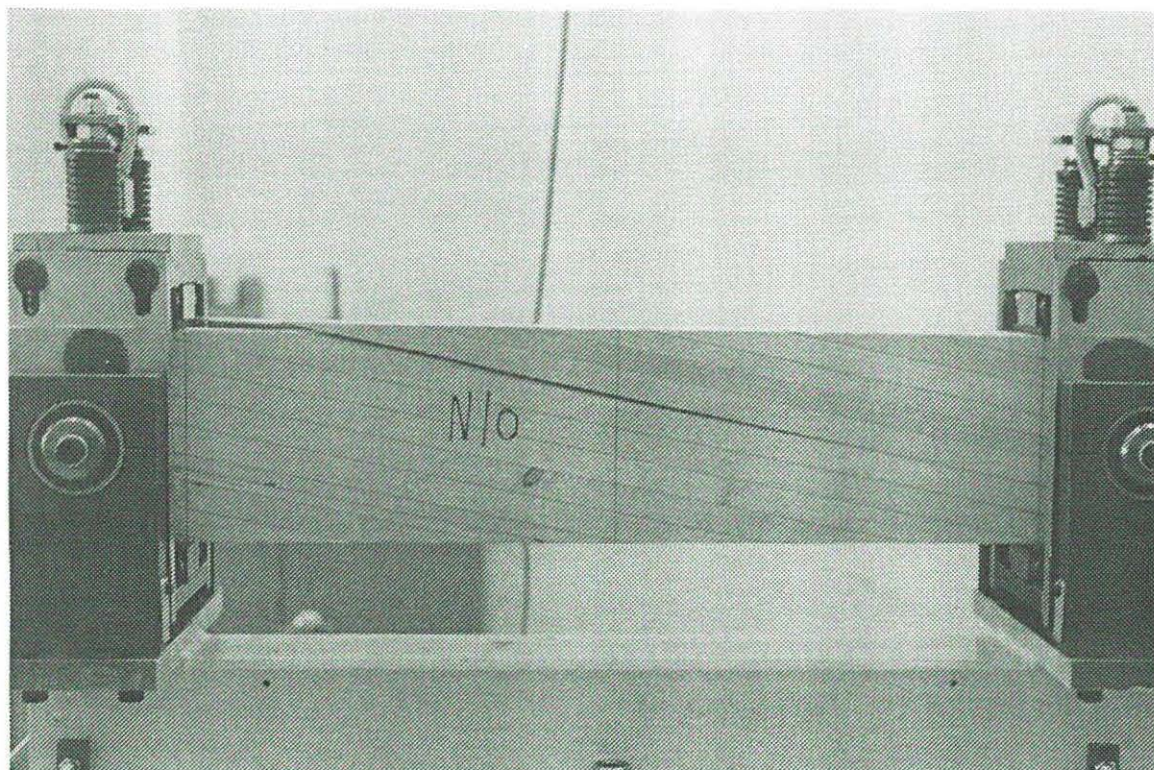


**Bjælke N10**

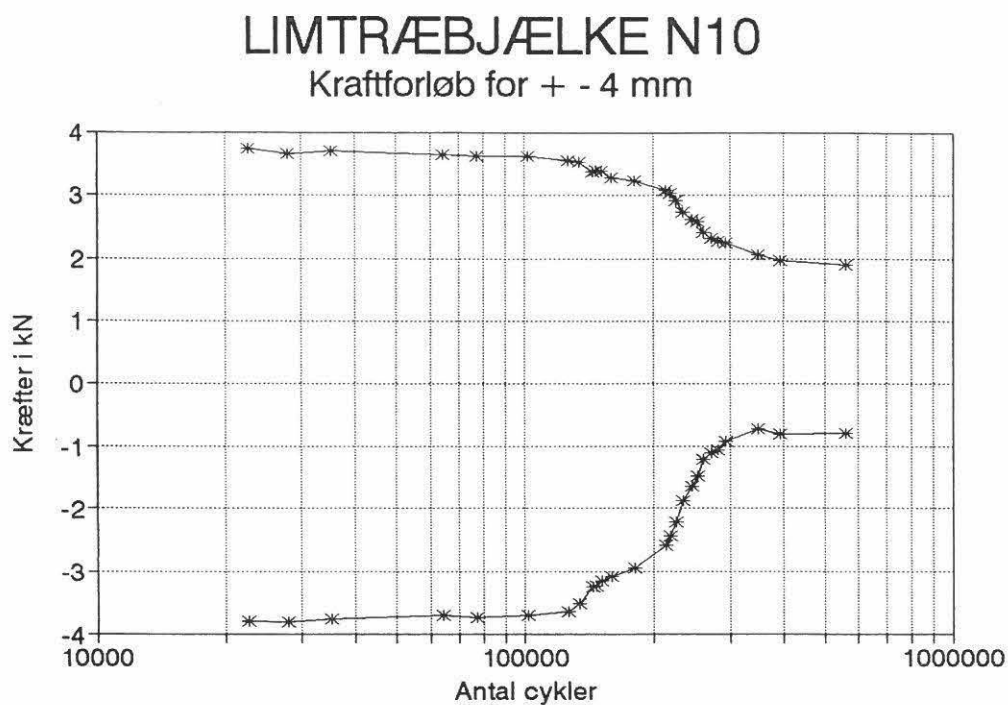
Statisk påvirkning  $u = 0 - 4,0$  mm

Udmattelsespåvirkning  $u = \pm 9,0$  mm til  $n = 568100$

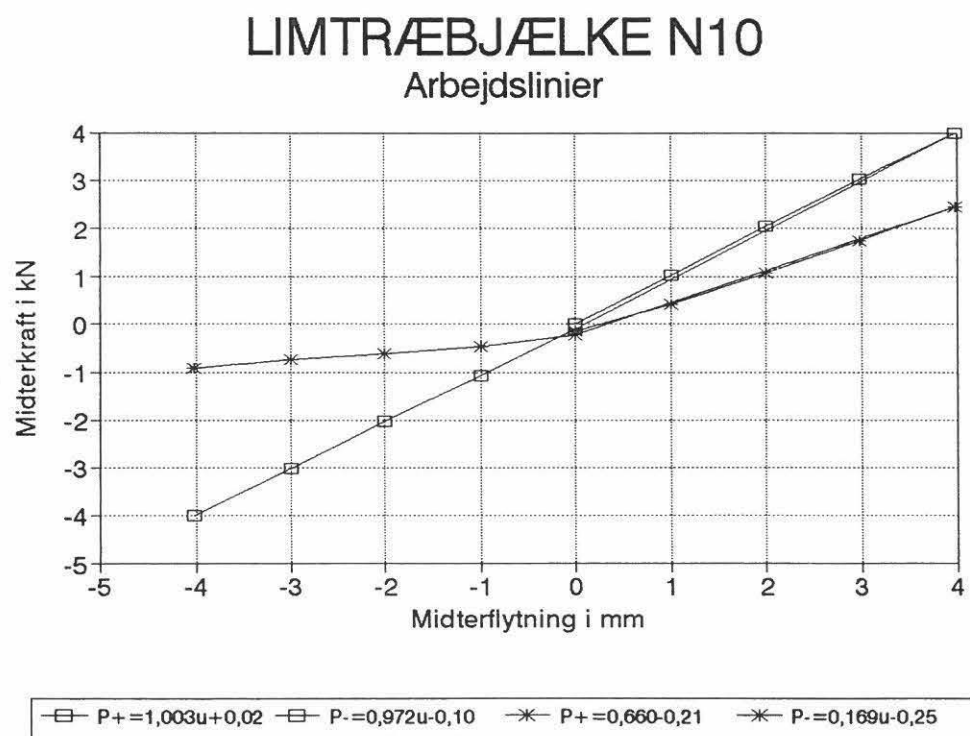
Statisk påvirkning  $u = 0 - 4,0$  mm



**Figur 3.10.1**    Revner parallelle med fibrene



**Figur 3.10.2** Midterkraften som funktion af antal cykler.



**Figur 3.10.3** Arbejdslinie før og efter udmattelsesforsøg.

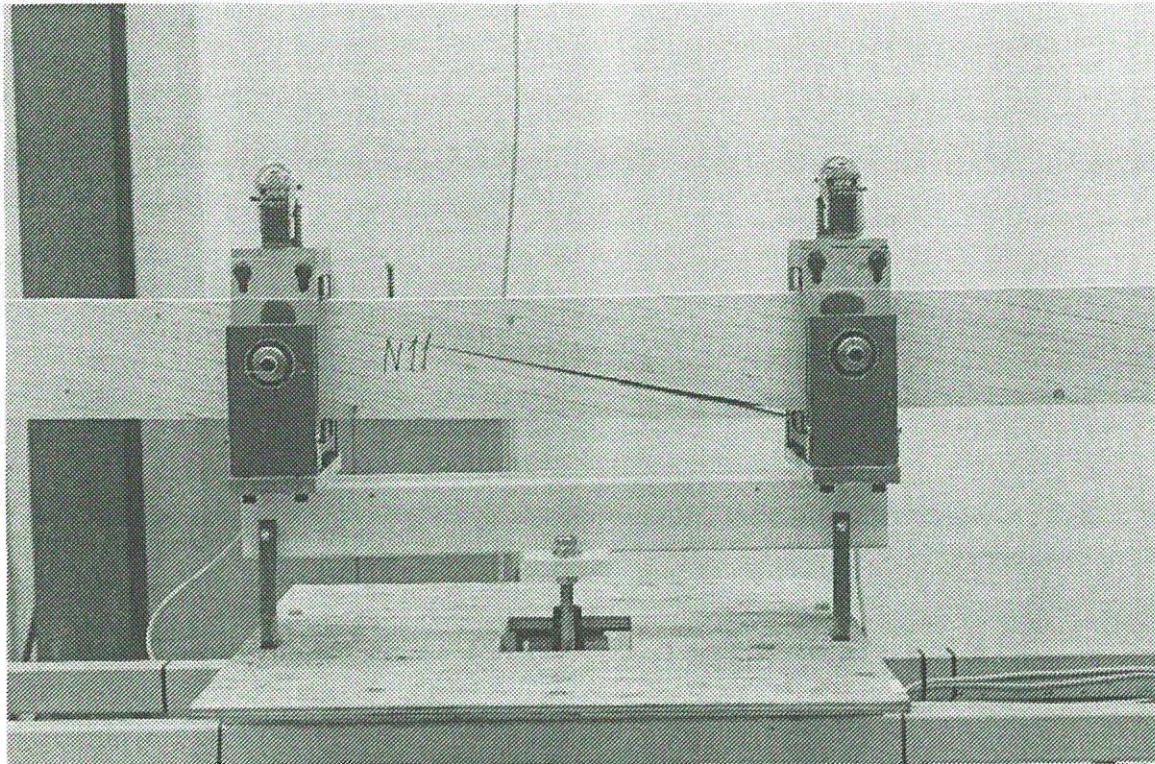


**Bjælke N11**

Statisk påvirkning  $u = 0 - 3,0$  mm

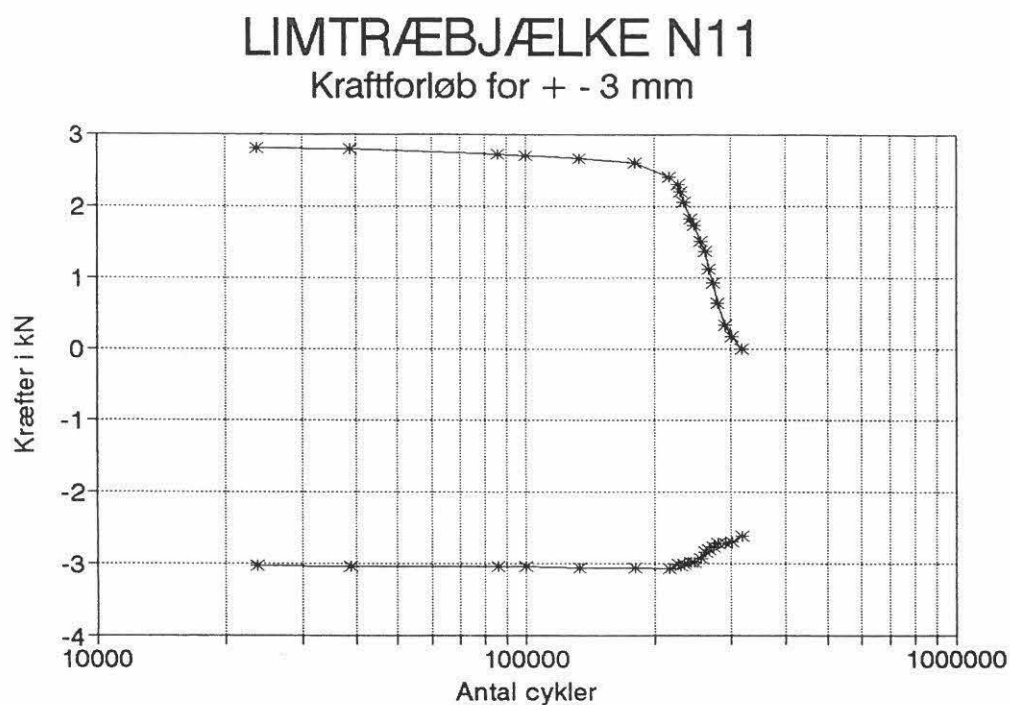
Udmattelsespåvirkning  $u = \pm 3,0$  mm til  $n = 318885$

Statisk påvirkning  $u = 0 - 3,0$  mm

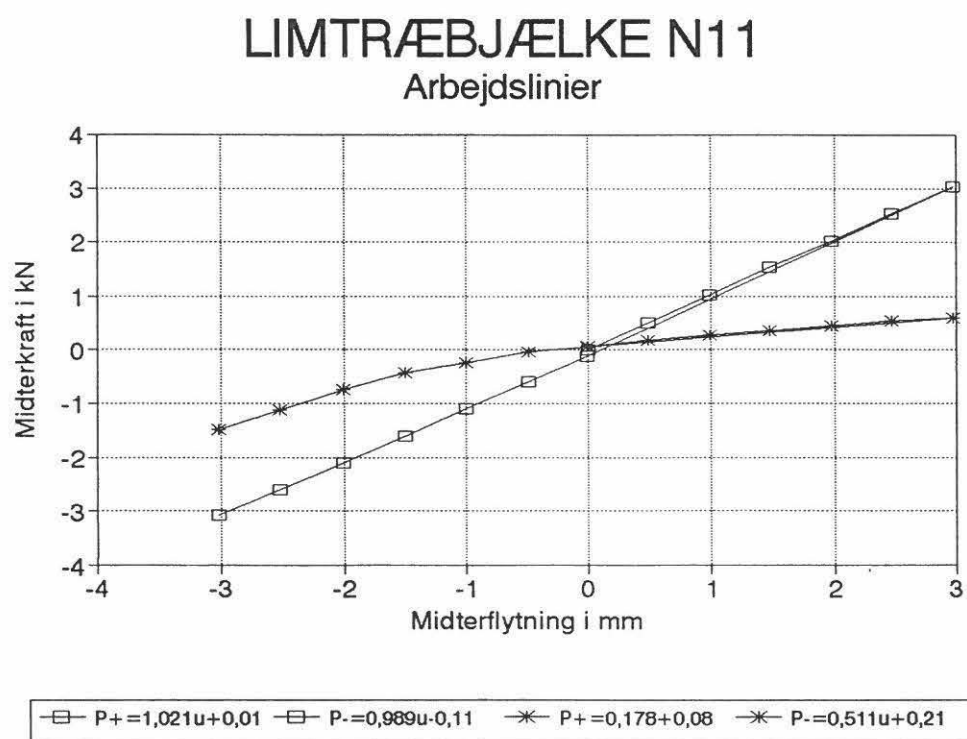


**Figur 3.11.1**    Revne parallel med fibrene





**Figur 3.11.2** Midterkraften som funktion af antal cykler.



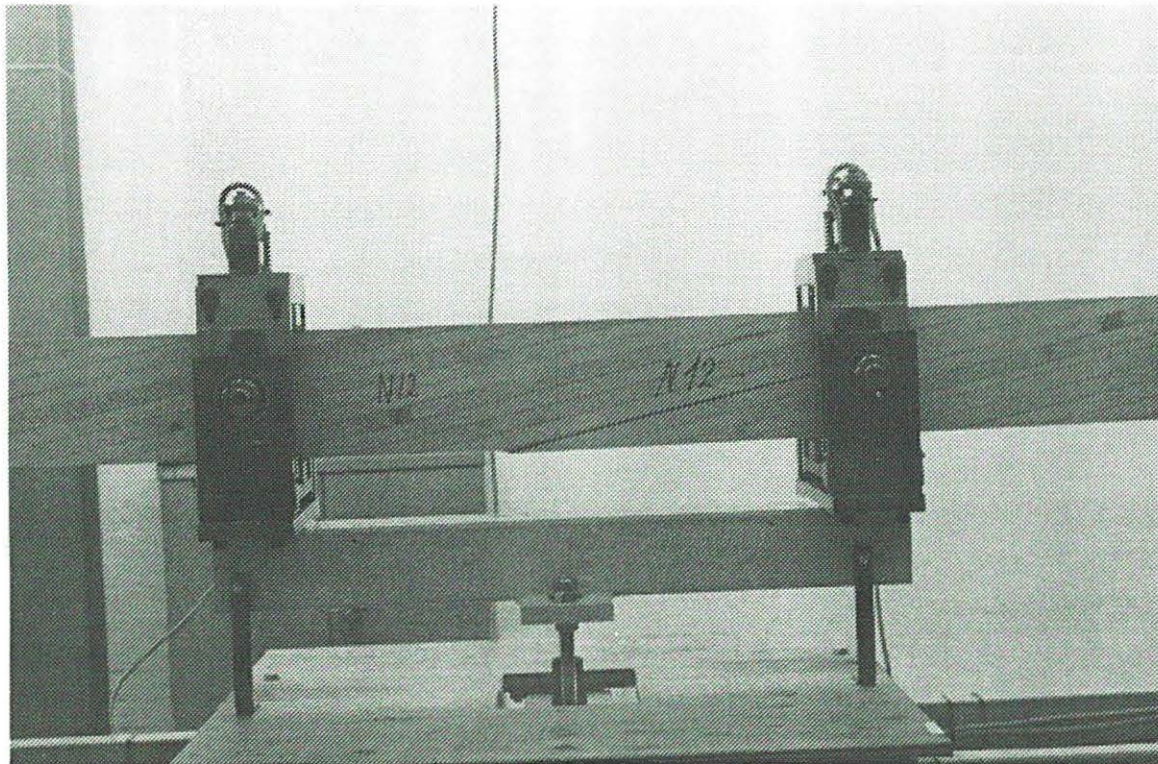
**Figur 3.11.3** Arbejdslinie før og efter udmattelsesforsøg.

**Bjælke N12**

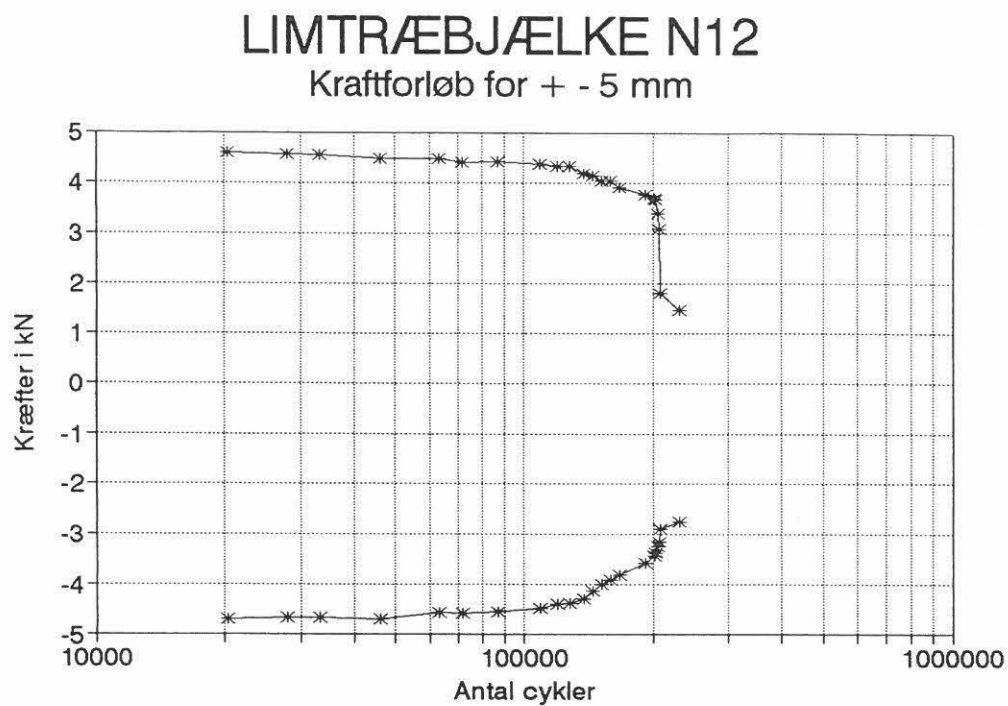
Statisk påvirkning  $u = 0 - 5,0$  mm

Udmattelsespåvirkning  $u = \pm 5,0$  mm til  $n = 231900$

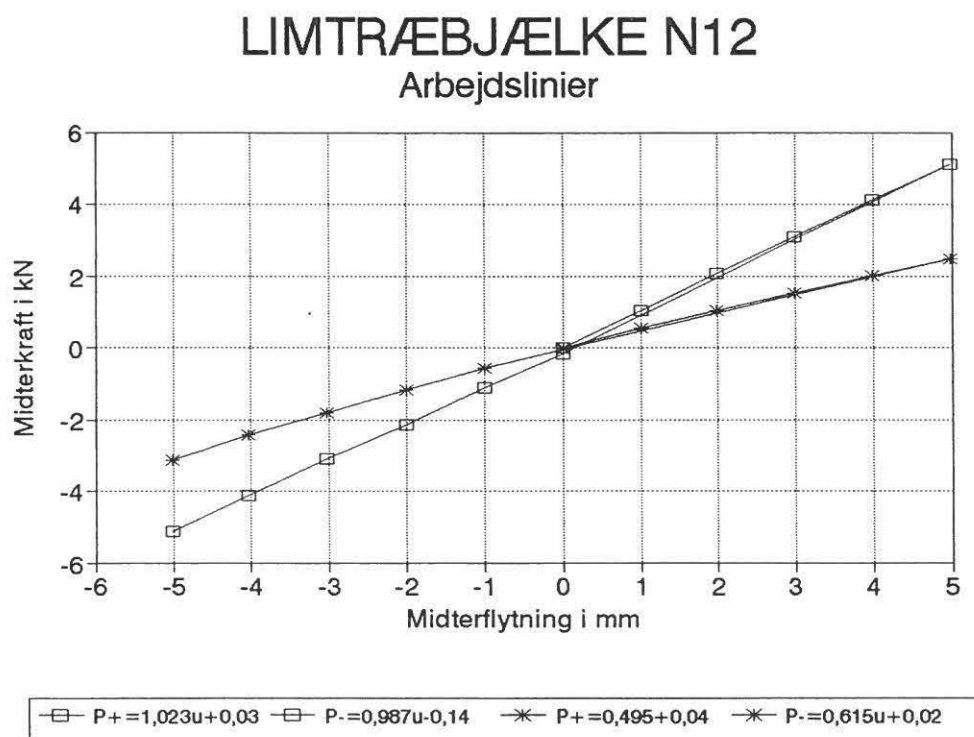
Statisk påvirkning  $u = 0 - 5,0$  mm



**Figur 3.12.1**    Revner parallelle med fibrene



**Figur 3.12.2** Midterkraften som funktion af antal cykler



**Figur 3.12.3** Arbejdslinier før og efter udmattelsesforsøg

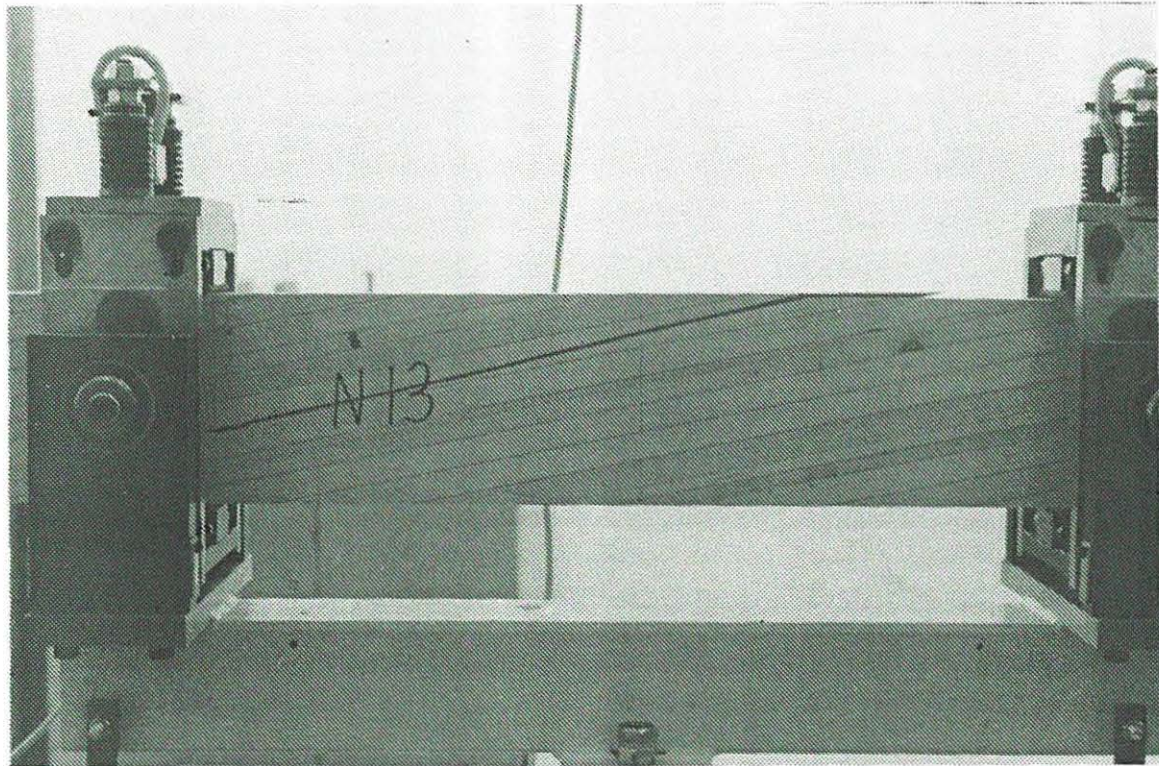


**Bjælke N13**

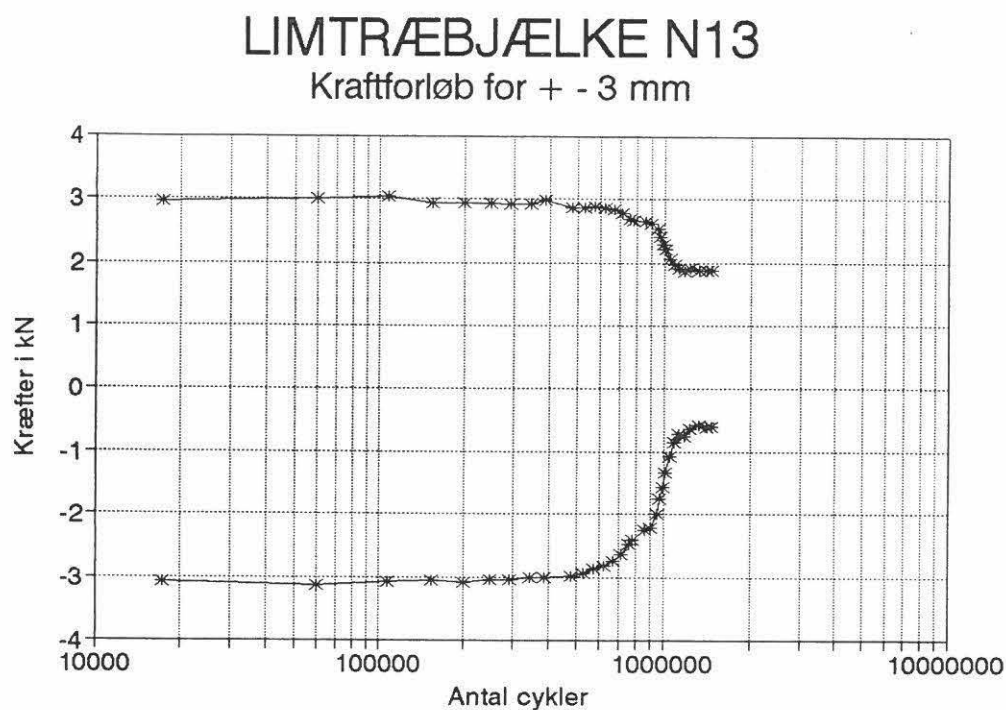
Statisk påvirkning  $u = 0 - 3,0 \text{ mm}$

Udmattelsespåvirkning  $u = \pm 3,0 \text{ mm}$  til  $n = 1487000$

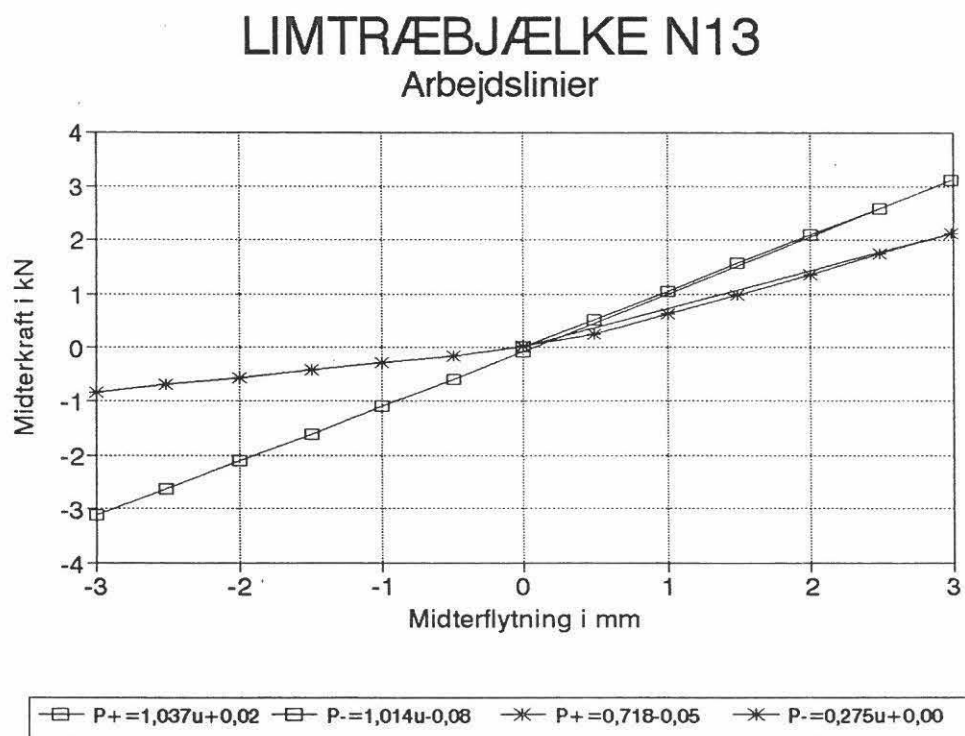
Statisk påvirkning  $u = 0 - 3,0 \text{ mm}$



**Figur 3.13.1**    Revne parallel med fibrene



**Figur 3.13.2** Midterkraften som funktion af antal cykler



**Figur 3.13.3** Arbejdslinier før og efter udmattelsesforsøg

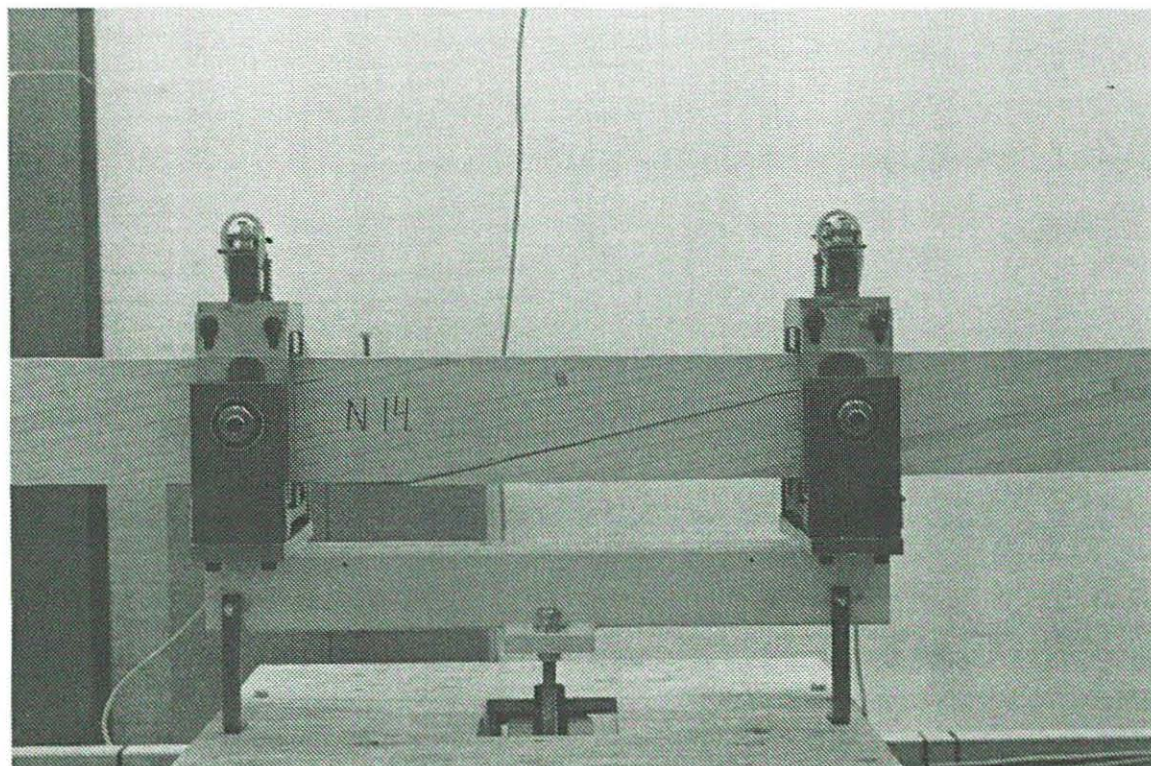


**Bjælke N14**

Statisk påvirkning  $u = 0 - 4,0 \text{ mm}$

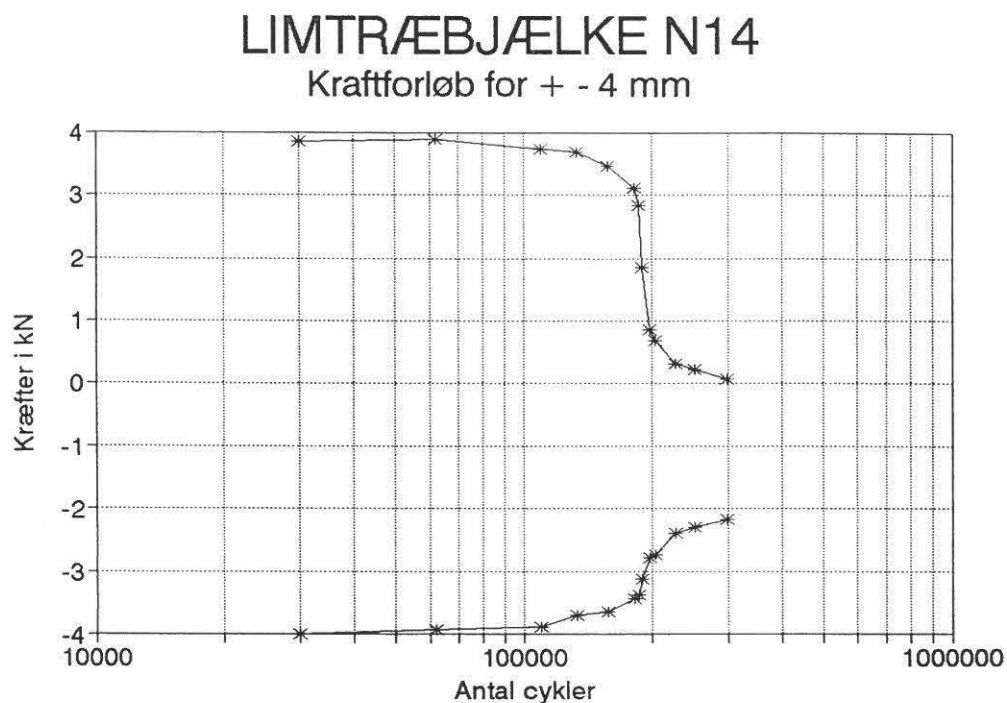
Udmattelsespåvirkning  $u = \pm 4,0 \text{ mm}$  til  $n = 300000$

Statisk påvirkning  $u = 0 - 4,0 \text{ mm}$

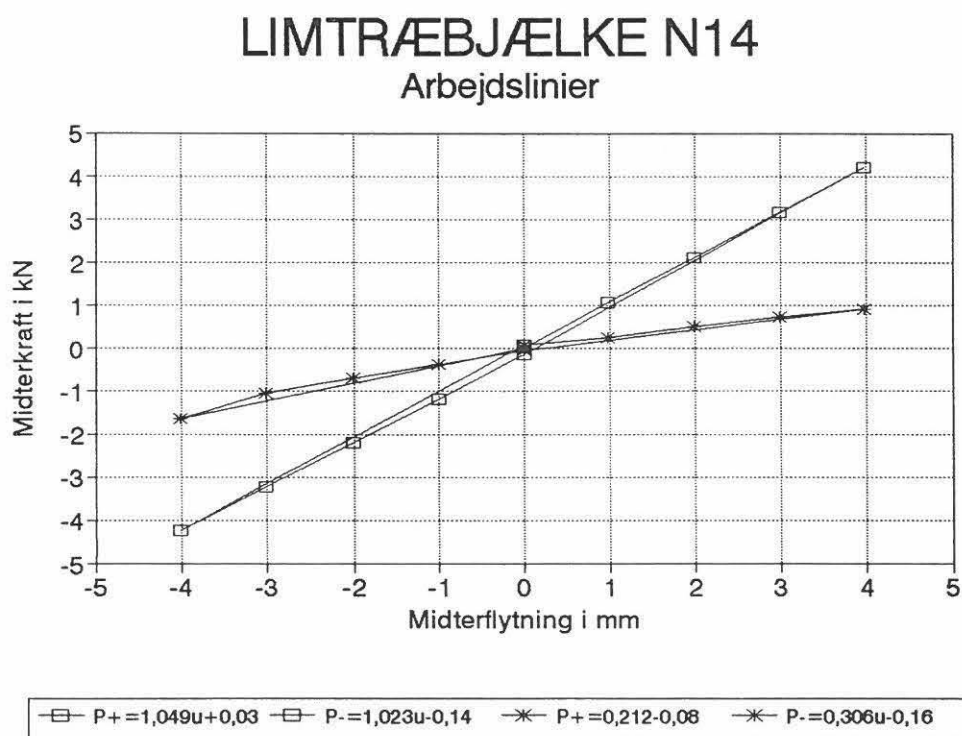


**Figur 3.14.1**    Revne parallel med fibrene





**Figur 3.14.2** Midterkraften som funktion af antal cykler.



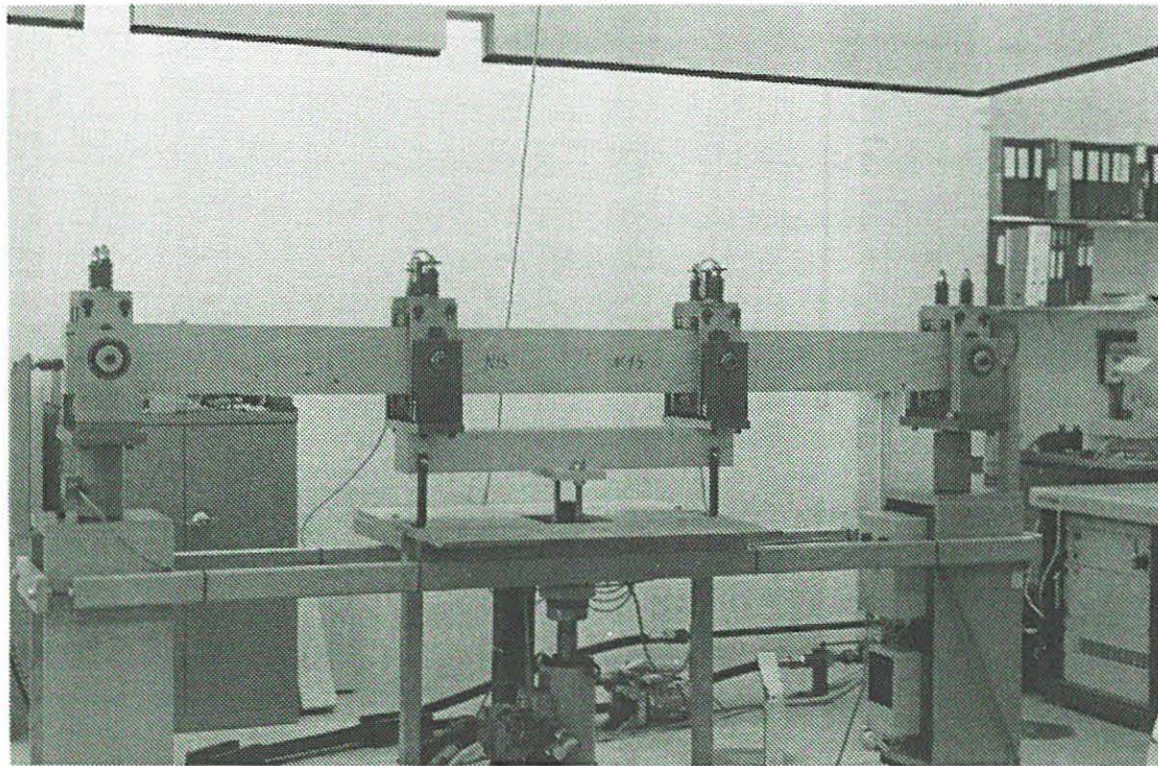
**Figur 3.14.3** Arbejdslinie før og efter udmattelsesforsøg.

**Bjælke N15**

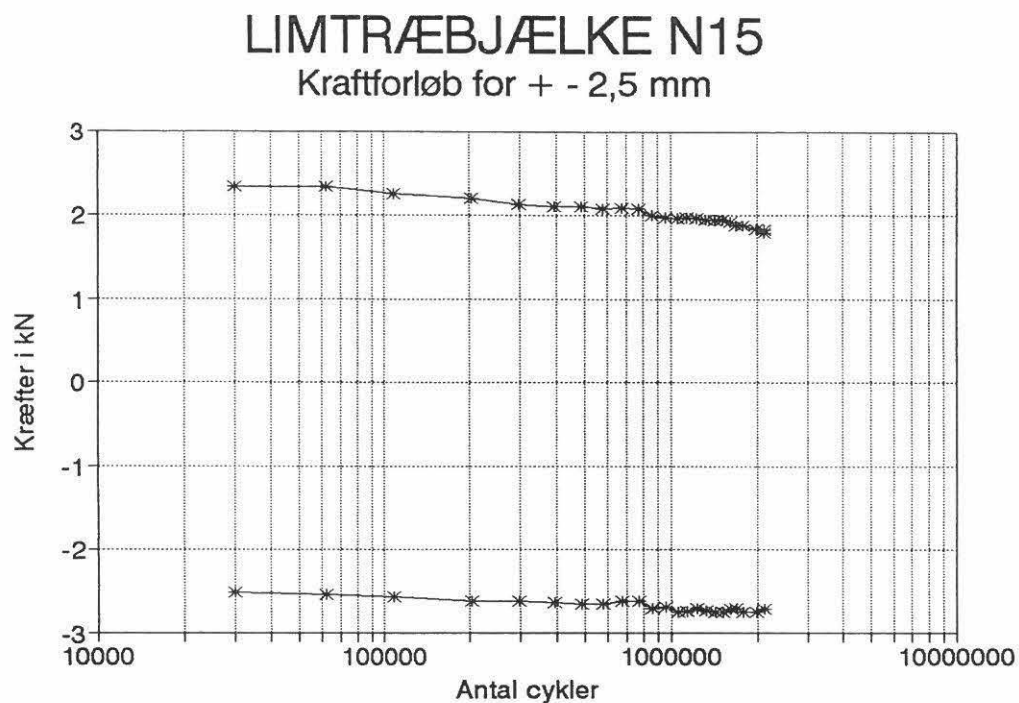
Statisk påvirkning  $u = 0 - 2,5 \text{ mm}$

Udmattelsespåvirkning  $u = \pm 2,5 \text{ mm}$  til  $n = 2300000$

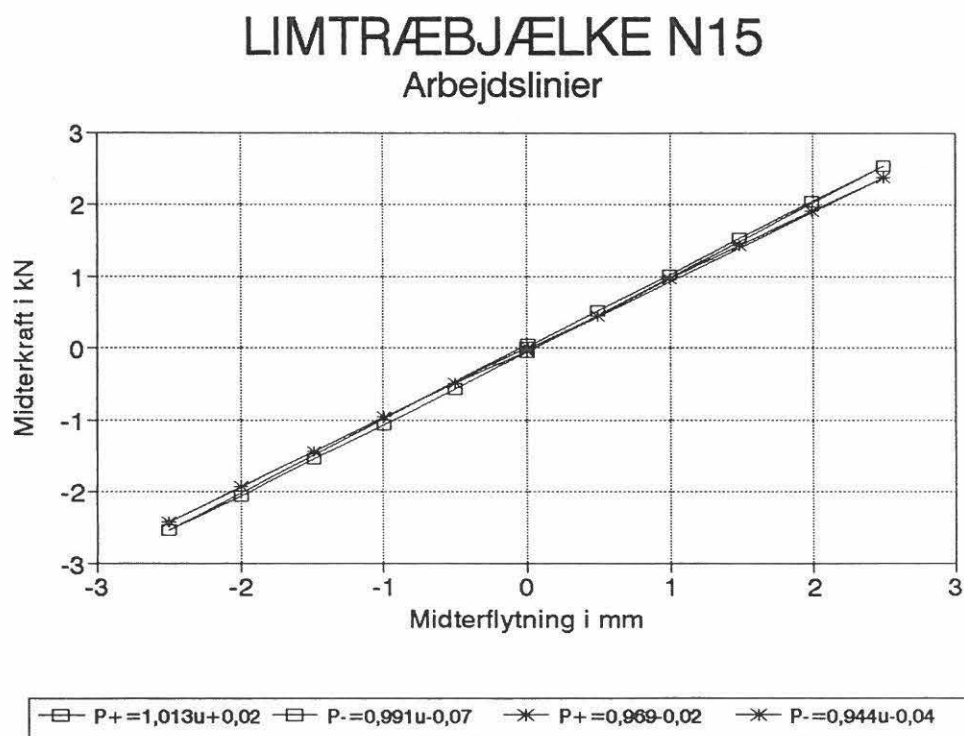
Statisk påvirkning  $u = 0 - 2,5 \text{ mm}$



**Figur 3.15.1** Ingen synlige skader



**Figur 3.15.2** Midterkraften som funktion af antal cykler.



**Figur 3.15.3** Arbejdslinie før og efter udmattelsesforsøg.



#### 4. Sammenligninger - Wöhlerkurve

I figurerne 4.1-4.3 er sammenholdt sammenhængen mellem  $P_{\max}$ ,  $P_{\min}$  og  $n$ , idet resultaterne for bjælker med samme amplitude,  $A$ , er optegnet i samme diagram.

Figur 4.4 viser for alle bjælker i serien sammenhængen mellem antallet af svingninger til "brud",  $N$ , og flytningsamplituden,  $A$ . I de tilfælde, hvor der ikke forekom brud i bjælken, er punktet vist med en trekant.

Den i figuren indtegnede, retliniede Wöhlerkurve har ligningen:

$$A = 13,7 - 1,81 \cdot \log(n) \quad [mm] \quad (4.1)$$

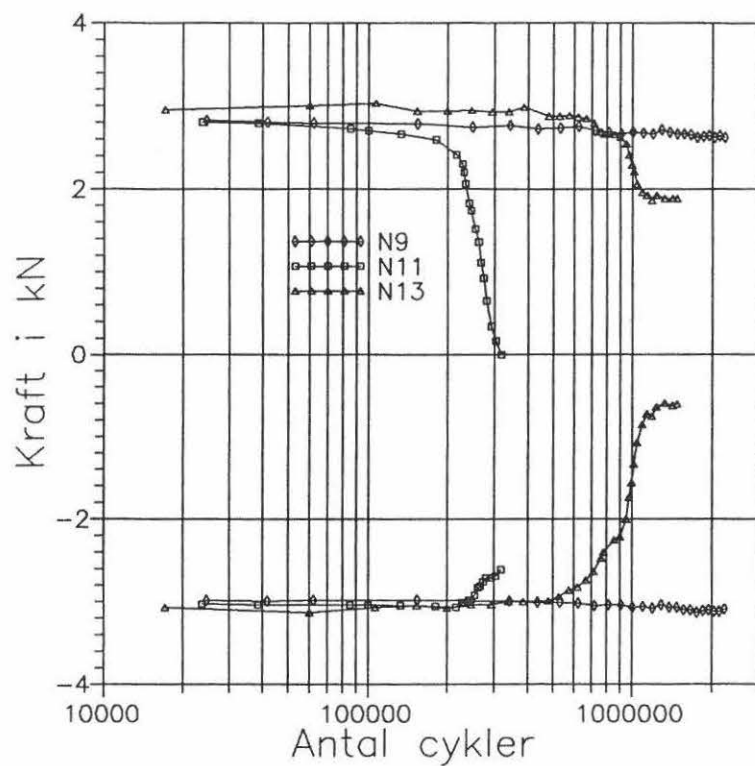
Sluttelig er i tabel 4.1 anført en oversigt over hældninger (bestemt før udmattelsesforsøgenes start) for  $P$ - $u$  - kurverne i kapitel 3 samt en angivelse af bøjningselasticitetsmodulet før udmattelsesforsøgets start.

Bøjningselasticitetsmodulet er bestemt ud fra følgende udtryk:

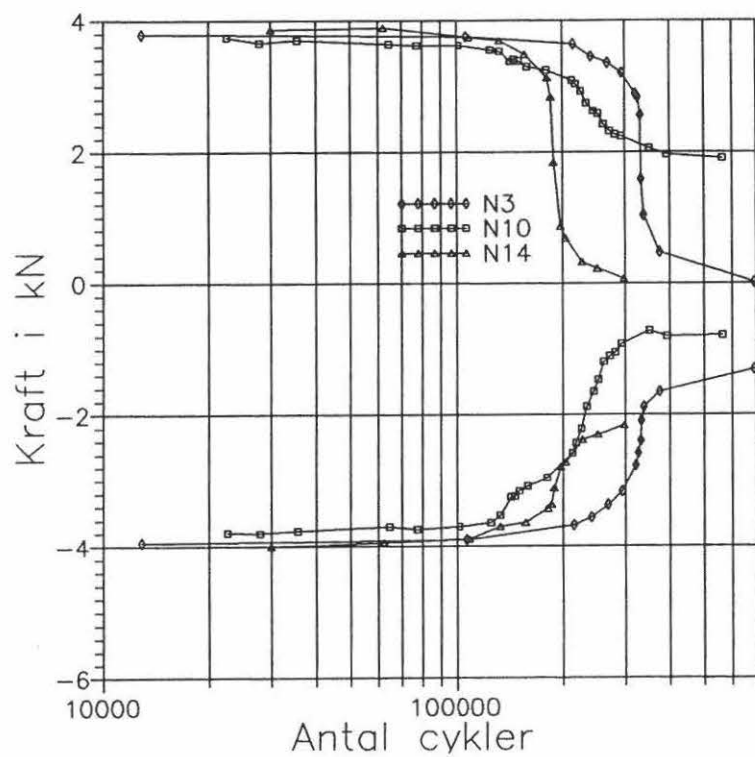
$$u = \frac{5 \cdot P \cdot L^3}{162 \cdot E \cdot I} \quad \Rightarrow \quad E = \frac{7716 \cdot P}{u} \quad [MPa] \quad (4.2)$$

hvor	$P$	er midterkraften i kN
	$L$	er længden af bjælken mellem understøtningerne (spændvidden) i mm
	$u$	er midterflytningen i mm
	$E$	er bjælkens bøjningselasticitetsmodul i MPa
	$I$	er bjælkens inertimoment i $mm^4$

$P/u$  er bestemt og gengivet i tabel 4.1 som konstanten  $k_1$ . I regnes konstant for alle bjælker,  $I = 70 \cdot 140^3 / 12 = 1,60 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$ .

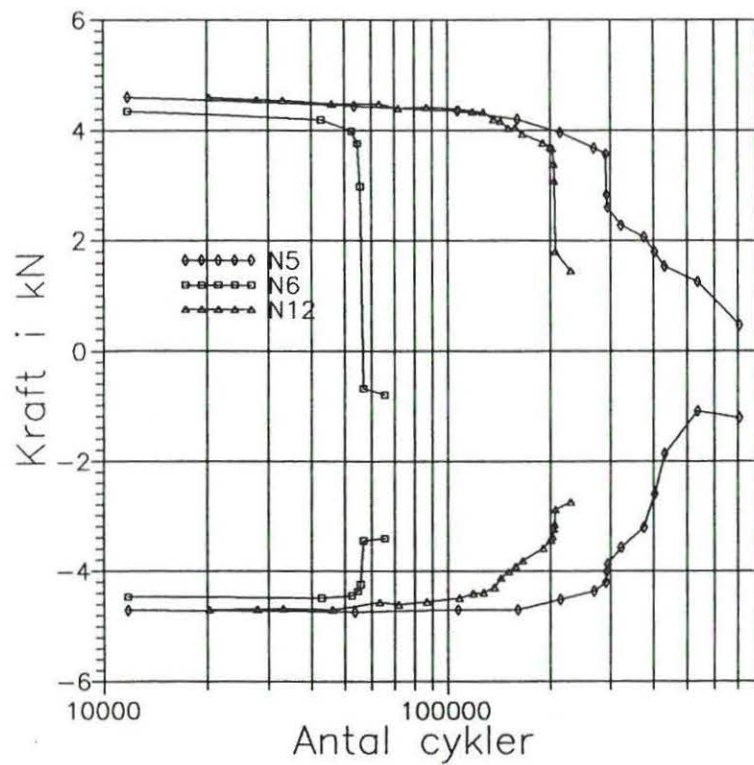


**Figur 4.1**  $P_{\max}$  og  $P_{\min}$  for limtræbjælkerne N9, N11 og N13 ved en amplitude på  $\pm 3$  mm.

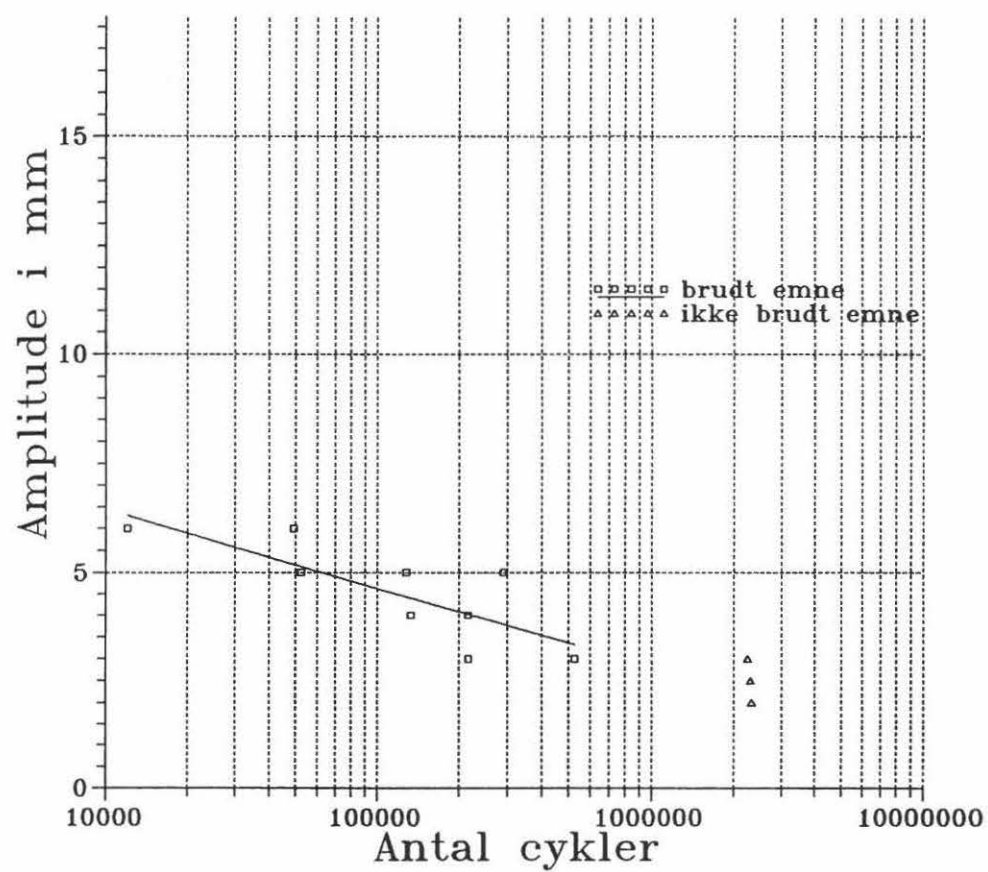


**Figur 4.2**  $P_{\max}$  og  $P_{\min}$  for limtræbjælkerne N3, N10 og N14 ved en amplitude på  $\pm 4$  mm.





**Figur 4.3**  $P_{\max}$  og  $P_{\min}$  for limtræbjælkerne N5, N6 og N12 ved en amplitude på  $\pm 5$  mm.



Figur 4.8 Wöhlerkurve for serie N.

Forsøgsnr.	$P = k_1u + k_2$	$E_{\text{bøjning}}/10^4 \text{ [MPa]}$
N1	-	-
N2	-	-
N3	$P = 1,033u + 0,02$	0,797
N4	$P = 1,002u$	0,773
N5	$P = 1,025u + 0,03$	0,791
N6	$P = 0,984u + 0,02$	0,759
N7	$P = 0,996u + 0,04$	0,768
N8	$P = 0,997u + 0,03$	0,769
N9	$P = 1,025u + 0,01$	0,790
N10	$P = 1,003u + 0,02$	0,774
N11	$P = 1,021u + 0,01$	0,788
N12	$P = 1,023u + 0,03$	0,789
N13	$P = 1,037u + 0,02$	0,800
N14	$P = 1,049u + 0,03$	0,809
N15	$P = 1,013u + 0,02$	0,782

**Tabel 4.1** Formel bøjningselasticitetsmodul,  $E_{\text{bøjning}}$ , i MPa før udmattelsesforsøg for serie N.



## 5. Referencer

- [1] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Indledende udmattelsesforsøg for laminerede limtræbjælker. Serie 1 og 2*. Oktober 1990. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, R9036.
- [2] Arne Rathkjen & Lars Pilegaard Hansen: *Udmattelsesegenskaber for træ herunder lamineret limtræ*. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, Marts 1990, R90.
- [3] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker*. Delrapport 1: Forsøgsbeskrivelse. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, april 1991, R9110.
- [4] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker*. Delrapport 2: Prøvning af serie A. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, marts 1991, 9105.
- [5] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker*. Delrapport 3: Prøvning af serie B. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, maj 1991, R9117.
- [6] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker*. Delrapport 4: Prøvning af serie C. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, juni 1991, R9119.
- [7] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker*. Delrapport 5: Prøvning af serie D. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, januar 1992, R9202.
- [8] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker*. Delrapport 6: Prøvning af serie E. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, juni 1992, R9211.
- [9] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker*. Delrapport 7: Prøvning af serie F. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, juli 1992, R9216.

- [10] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker*. Delrapport 8: Prøvning af serie G. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, september 1992, R9225.
- [11] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker*. Delrapport 9: Prøvning af serie H og I. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, oktober 1992, R9232.
- [12] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker*. Delrapport 10: Prøvning af serie J. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, oktober 1992, R9233.
- [13] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker*. Delrapport 11: Prøvning af serie K. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, oktober 1992, R9234.
- [14] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker*. Delrapport 12: Materialeprøvninger. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, april 1993, R9313.
- [15] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker*. Delrapport 13: Sammenligninger, vurderinger og konklusioner. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, juni 1993, R9318.
- [16] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker*. Delrapport 14: Prøvning af serie L. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, juni 1993, R9315.
- [17] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker*. Delrapport 15: Prøvning af serie M. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universityetscenter, juni 1993, R9317.

